

# AERONAUTICA MILITARE



S.O.AP.  
UNA METODICA IN CONTINUO AGGIORNAMENTO

**Col. G.A.r.n. GIANCARLO SEGHERI**  
**Magg. G.A.r.n. ENZO D'AGUANNO**  
**Cap. G.A.r.n. GIUSEPPE SCIUTO**

## **Introduzione**

L'Aeronautica Militare è l'organizzazione del sistema di difesa italiano che svolge il proprio compito impiegando il mezzo aereo. Tutta l'organizzazione ruota attorno all'aeromobile ed a quanto è necessario per renderlo affidabile e sicuro in qualsiasi situazione d'impiego.

Una buona parte della nostra organizzazione è dedicata al controllo ed alla manutenzione delle parti meccaniche ed elettroniche di un aeromobile anche in considerazione del fatto che le caratteristiche principali di un aereo militare rispetto ad un aereo da trasporto civile, (peso e dimensioni ridotte, motori che devono produrre notevoli spinte e supportare frequenti ed improvvise variazioni di regime, estrema manovrabilità, ecc..) tendono ad esasperarne l'usura.

La manutenzione di un aereo e di tutte le sue parti, all'interno dell'A.M., è effettuata con meticolosa pianificazione in base a scadenze temporali sia calendariali sia in base alle ore di volo effettuate; oltre alla manutenzione programmata viene effettuata una manutenzione di tipo "on condition" tutte le volte che, in base a controlli pre e/o post volo, vengono rilevati parametri che ne suggeriscono l'adozione.

Nel vasto panorama della manutenzione svolta sui velivoli dell'A.M., sono inseriti anche i Laboratori Tecnici di Controllo, dipendenti dal Reparto Servizi di Supporto del Comando Logistico.

### **1. I Laboratori Tecnici di Controllo dell'A.M.**

Si è già parlato della necessità di controllare e monitorizzare tutto ciò che ruota attorno ad un velivolo. In questo contesto, è da considerare che non solo un velivolo e tutte le sue parti costituenti debbono essere sempre perfettamente efficienti, ma anche tutto quello di cui esso ha bisogno per volare deve corrispondere a determinate e ben definite specifiche qualitative.

Combustibili e/o carburanti, lubrificanti e fluidi idraulici sono elementi essenziali per il funzionamento delle superfici mobili e dei motori degli aerei ed è quindi di estrema importanza che questi corrispondano alle specifiche previste per il loro impiego.

I sei Laboratori Tecnici di Controllo dell'Aeronautica Militare, dipendenti dal Comando Logistico e disseminati territorialmente fra nord, centro e sud Italia, svolgono una costante e capillare azione di controllo di questi prodotti, sia in fase di acquisizione durante il collaudo dei lotti di prodotto acquistati dalle Ditte fornitrici, sia durante lo stoccaggio all'interno dei depositi. In fig. 1 è schematicamente riportata la disposizione sul territorio nazionale e la dipendenza dei Laboratori Tecnici di Controllo dell'A.M.

Oltre alla succitata attività analitica di controllo, i Laboratori dell'A.M. sono impegnati in numerose e non meno importanti altre attività che spaziano dal settore della sicurezza dell'ambiente e dei lavoratori, a quello del controllo della preparazione professionale tecnica e normativa del personale dei depositi, a quello del controllo dell'ossigeno avio, a quello dell'analisi dell'olio lubrificante usato e proveniente dai circuiti di lubrificazione di motori ed organi di trasmissioni dei velivoli.

Su quest'ultima tipologia analitica focalizzeremo la nostra attenzione, in quanto costituisce una delle importanti attività dedicate alla manutenzione "on condition".



fig. 1 – Organizzazione dei Laboratori Tecnici di Controllo dell'A.M.

Nei nostri Laboratori, il controllo spettrometrico degli oli di lubrificazione viene effettuato utilizzando il programma S.O.A.P. (Spectrometric Oil Analysis Program) di cui parleremo ampiamente in seguito. Il programma viene svolto dai Laboratori dell'A.M. per tutti i meccanismi dei velivoli di tutte le FF.AA. e Corpi dello Stato, eccetto che per quelli della Marina Militare che applica il programma in modo autonomo.

## 2. Il programma S.O.A.P.

### 2.1 Un po' di storia

Nel 1940, le Ferrovie australiane decisero di ricorrere per la prima volta all'analisi spettrometrica periodica per la determinazione del contenuto metallico all'interno dell'olio lubrificante dei grandi motori Diesel dei propri locomotori. Il presupposto di questo tipo d'analisi era basato sull'idea che l'anormale funzionamento di ingranaggi dei motori comporta dei fenomeni di usura con conseguente passaggio di piccole particelle metalliche (diametro equivalente dell'ordine di alcuni  $\mu\text{m}$ ) nell'olio di lubrificazione. In effetti, mediante periodiche analisi dell'olio di un motore Diesel, effettuate con una certa frequenza fu possibile scoprire, dall'improvviso aumento delle quantità di metalli presenti, un'incipiente avaria. La revisione e riparazione del motore consentì di evitare danni irreparabili.

A quell'epoca, l'analisi spettroscopica, pur consentendo un'esatta determinazione di piccole quantità di metallo presente nell'olio, veniva effettuata mediante registrazione dello spettro su lastre fotografiche: dall'intensità dell'annerimento della lastra in corrispondenza delle righe spettrali, venivano determinate le quantità presenti. Nonostante l'elevata precisione, il metodo richiedeva tempi notevolmente lunghi, ma dato l'esiguo numero di campioni e la non elevata frequenza degli stessi, ciò non costituirono un grave problema, ed il metodo continuò ad essere adottato con successo.

Nel 1950, cominciarono ad essere prodotti i primi spettrometri a registrazione diretta con i quali fu possibile ridurre i tempi d'analisi a pochi minuti, permettendo un'applicazione del metodo per controlli su vasta scala.

Nel 1955, il Bureau of Naval Weapons dell'U.S. Navy Department eseguì un'indagine atta a determinare se fosse il caso di applicare (fattibilità e convenienza) il metodo spettrometrico al controllo dei motori alternativi della propria aviazione. Le conclusioni di tale indagine furono le seguenti:

- a) la tecnica dell'indagine spettrometrica dell'olio era potenzialmente applicabile a qualsiasi sistema di lubrificazione a circuito chiuso;
- b) la tecnica era in grado di individuare tempestivamente l'insorgere di un'avaria di parti meccaniche ed, in alcuni casi, anche di localizzare il punto dove questo si stava verificando.

Nel 1960, l'Esercito degli U.S. iniziò ad usare l'analisi spettrometrica dell'olio in modo routinario per il controllo delle condizioni dei motori e degli organi di trasmissione dei propri elicotteri.

Nel 1963, l'U.S.A.F. sviluppò un programma denominato S.O.A.P. per il controllo dei motori dei propri aerei.

Gli ottimi risultati conseguiti indussero l'U.S.A.F. a dare notevole impulso al programma che passò dai circa 85.000 campioni analizzati nel 1964 ai circa 265.000 del 1965.

Negli anni seguenti, il programma S.O.A.P. si è esteso alle altre componenti della Difesa degli U.S. e l'analisi spettrometrica dell'olio è divenuta una parte integrante del sistema manutentivo, fino al caso di un F16 sul quale deve obbligatoriamente essere effettuata un'analisi spettrometrica dopo ogni volo. Il programma S.O.A.P. è stato codificato in campo N.A.T.O. con lo STANAG 7017 (**STAN**dardization **AG**reement) e viene applicato da tutti i paesi dell'alleanza oltre ad esserlo, con le dovute varianti, anche in molti campi privati laddove è necessario un elevato margine di sicurezza d'impiego e/o laddove un guasto meccanico sia da evitare a tutti i costi.

Alla fine del 1966, anche l'Aeronautica Militare Italiana adottò il programma S.O.A.P. iniziando a compiere un monitoraggio sui motori dei propri aerei, ma già nel 1967 l'Esercito, la Guardia di Finanza, i Carabinieri, la Polizia ed i Vigili del Fuoco chiesero di essere inseriti nel programma.

Il numero di analisi salì così in modo repentino dalle circa 2.000 analisi annue del 1966 e '67 alle 3000 del '68 e così via, inserendo anche il controllo dei motori degli elicotteri e delle scatole di trasmissione, sino alle 21.000 dell'87, numero di analisi che si è praticamente stabilizzato ed è attualmente rappresentativo.

Nel 1966, le prime analisi vennero svolte presso i laboratori di Roma e Padova con strumentazione ad Assorbimento Atomico classico; l'anno successivo il laboratorio di Roma venne dotato anche di un Quantometro (fra i primi strumenti ad Emissione Atomica).

Nel 1974 furono acquistati i primi due FAS (Fluid Analysis Spectrometer) ad E.A. che furono destinati a Roma ed a Pisa (quest'ultimo sarà l'unico strumento al di fuori dei LL.TT.CC).

Nel 1984 il Laboratorio di Bari entrò a far parte del programma S.O.A.P. utilizzando un A.A. classico. Nel 1990 il Laboratorio di Trapani entrò a far parte del programma essendo stato dotato di uno strumento PWMA (Portabile Wear Metal Analyzer), un particolare tipo di A.A. a fornetto di grafite dedicato all'analisi S.O.A.P. ed appositamente costruito dalla Perkin Elmer con caratteristiche spiccatamente militari (dimensioni ridotte, facilità d'impiego, paracadutabilità); nel 1992 lo stesso tipo di strumentazione consentì di allargare il programma al Laboratorio di Decimomannu.

Nel 1993 fu acquistato e consegnato al laboratorio di Bari il primo strumento MOA (Multielement Oil Analyzer) della Baird, basato sulla tecnica dell'E.A., il primo strumento di questo tipo completamente gestito via PC.

Oggi tutti i nostri Laboratori utilizzano questo strumento per le analisi del programma S.O.A.P.

## 2.2 Il metodo analitico

La tecnica dell'emissione atomica tramite arco fotovoltaiico, consiste nel far "bruciare" una piccola quantità di campione tra due elettrodi di grafite, per mezzo di una forte scarica elettrica. La scintilla eccita gli atomi degli elementi metallici contenuti nel campione, con conseguente emissione di energia radiante (luce), successivamente separata nelle varie componenti spettrali tramite un reticolo di diffrazione.

Tutti gli elementi emettono a specifiche e caratteristiche lunghezze d'onda, ed il M.O.A. è stato progettato e costruito per misurare l'intensità della luce emessa in termini di rapporto segnale rumore alle lunghezze d'onda più stabili dei vari elementi.

L'intensità o brillantezza della luce emessa da un elemento è misurata per mezzo di un fotodiodo (uno per ciascun elemento), e quindi trasformata in concentrazione tramite opportune curve di taratura. In fig. 2 è riportato lo schema di funzionamento a blocchi di uno strumento M.O.A..

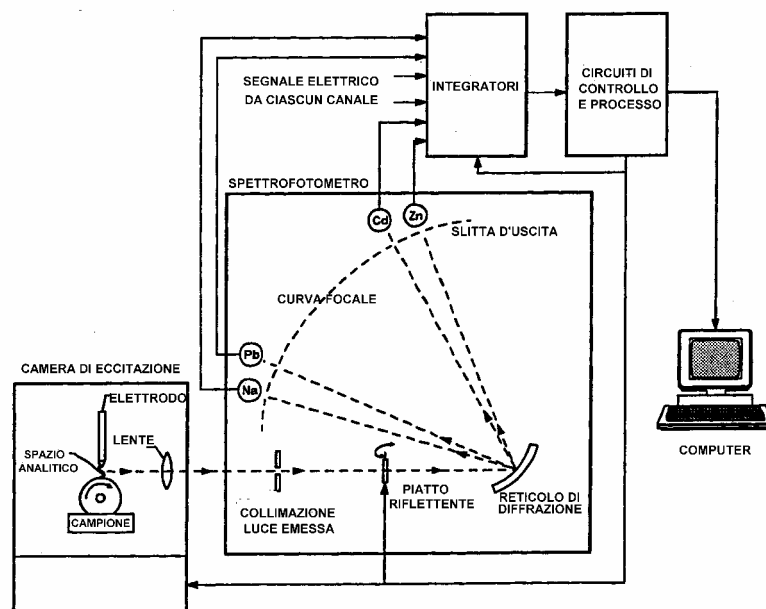


fig. 2 - Schema di funzionamento di uno spettrometro ad emissione atomica

Uno dei problemi di questo metodo analitico consiste nel fatto che il campione da analizzare non è una soluzione omogenea come quella dei materiali di riferimento usati per la taratura, ma è costituito da una sospensione di particelle metalliche in olio lubrificante. Tali particelle tendono ovviamente a depositarsi sul fondo del campione, pertanto l'esito dell'analisi è legato alla distribuzione granulometrica delle particelle stesse. È stato calcolato che in genere particelle con diametro superiore ai 10  $\mu\text{m}$ , precipitano troppo velocemente per poter essere rilevate. Da quanto detto risulta chiaro che il metodo è completamente cieco rispetto alle particelle metalliche di maggiori dimensioni.

Altra difficoltà del metodo, consiste nel fatto che il risultato è legato alla viscosità dell'olio; infatti, è quest'ultimo parametro a determinare lo spessore del film di olio (ovvero alla quantità di particelle metalliche sottoposte all'eccitazione) che ricoprirà l'elettrodo rotante. Nella fig. 3 è riportato un dettaglio della camera di eccitazione.

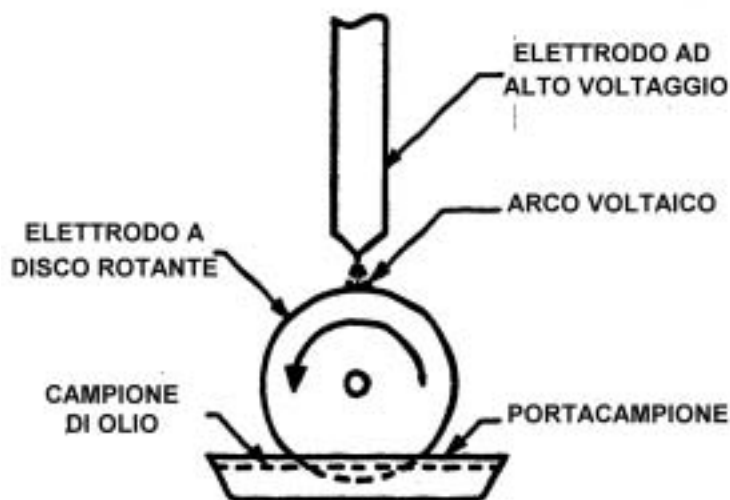


fig. 3 – Dettaglio della camera di eccitazione di un M.O.A.: l'elettrodo rotante trascina un film di olio prelevandolo dal portacampione e portandolo sotto l'elettrodo fisso dove avviene l'eccitazione mediante arco voltaico.

Da quanto suesposto appare evidente che se si vuole ottenere un risultato preciso ed accurato in termini di concentrazioni dei metalli presenti nell'olio, questo metodo non è certo il migliore, tuttavia presenta tre notevoli vantaggi, cioè:

- semplicità;
- rapidità di esecuzione;
- nessuna manipolazione del campione.

Analizzando bene il problema si comprende che l'informazione essenziale non consiste nello stabilire in modo accurato l'esatta concentrazione di un dato metallo, bensì nel determinare l'andamento e la velocità con cui la concentrazione dei vari metalli varia in base alle ore di funzionamento dei circuiti lubrificati; più esattamente, è importante stabilire la differenza tra le concentrazioni dello stesso metallo in campioni equivalenti ma prelevati in momenti diversi. Il metodo da

utilizzare quindi non deve avere necessariamente la caratteristica dell'accuratezza. Infatti se ciò che si deve determinare è la differenza tra due valori, ciò che è realmente importante è la precisione, ovvero la ripetibilità e la riproducibilità del metodo.

Quanto detto rappresenta un compromesso possibile e necessario, a condizione che ogni singolo passaggio sia rigidamente standardizzato.

A tal proposito, la Direzione Generale delle Costruzioni delle Armi e degli Armamenti Aeronautici e Spaziali del Ministero della Difesa, con la Prescrizione Tecnica AER.00-42-1B, ha stabilito che:

- in fase di taratura deve essere utilizzato olio base, ovvero olio privo di residui metallici, rispondente alla specifica MIL-L-23699D
- le curve di taratura sono costruite utilizzando soluzioni di composti organometallici in olio base.

Per tutti gli altri aspetti relativi al procedimento analitico si è stabilito di seguire rigorosamente le indicazioni del costruttore degli spettrometri attualmente in uso.

Tutto questo consente di ottenere risultati omogenei e confrontabili tra un laboratorio e l'altro, ovvero ripetibili e riproducibili.

### ***2.3 Il Sistema di Qualità del Laboratorio***

Abbiamo discusso del metodo analitico e delle sue peculiarità; come qualsiasi metodo analitico, esso è affetto da errori sia sistematici che casuali. Non essendo normato come procedimento analitico (anche se l'ASTM nel 2000 ha emesso la norma D6595-00: "Determination of wear metals and contaminants in used lubricating oils or used hydraulic fluids by rotating disc electrode Atomic Emission Spectrometry" che però non è generalmente usata) non sono disponibili dati di ripetibilità e riproducibilità ben determinati attraverso i quali controllare il corretto funzionamento dell'apparecchiatura contro un materiale di riferimento. Tuttavia non è possibile prescindere dalla conoscenza dello "stato di salute" della strumentazione pertanto si è stabilito di procedere a:

- utilizzo di carte di controllo, per verificare il comportamento dello strumento nel tempo, rispetto ad una situazione considerata ideale;
- partecipazione ad un circuito di correlazione interlaboratorio.

### ***2.4 Carte di Controllo***

Le carte di controllo sono uno strumento ormai di uso comune che consente, almeno nel caso in discussione, di verificare:

- se l'apparecchiatura usata è in grado di dare risultati ripetibili sia nell'ambito della stessa giornata lavorativa, sia tra una taratura e l'altra o tra una manutenzione ordinaria e l'altra;
- se i vari operatori nello stesso laboratorio sono in grado di dare sempre risultati confrontabili.

Questi aspetti sono particolarmente importanti se si considera che in un metodo semiempirico come quello in discussione, anche piccole variazioni nella procedura possono comportare variazioni nei risultati con notevoli effetti sulle informazioni che si desidera ottenere.

Il meccanismo di funzionamento di una carta di controllo è estremamente semplice:

si esegue una taratura del metodo con materiali di riferimento dopo aver effettuato la manutenzione e la conferma metrologica dello strumento (od in ogni caso quando si è sicuri del suo corretto funzionamento) e si registrano i valori ottenuti. All'inizio ed alla fine dell'attività giornaliera, si effettua l'analisi sui materiali di riferimento come se si trattasse di campioni incogniti.

Tale operazione viene ripetuta per un ragionevole numero di volte al fine di ricavare un valore medio ed uno scarto tipo rappresentativi del sistema monitorizzato.

Questi valori diventano dei punti di riferimento per valutare il buon funzionamento dell'apparecchiatura.

Di massima si può affermare che:

- i valori ottenuti devono distribuirsi omogeneamente sopra e sotto il valore della media;
- se alcuni elementi tendono a dare valori sempre dalla stessa parte rispetto alla media (errore sistematico), è necessario verificare se ciò è dovuto:
  - a) all'operatore;
  - b) all'apparecchiatura;
  - c) ai materiali di riferimento in uso.
- Anche se le concentrazioni si distribuiscono attorno alla media, occorre fare attenzione al valore della differenza fra una concentrazione ed il valor medio; in base all'ampiezza di questa differenza possono essere tratte alcune conclusioni circa il corretto funzionamento della strumentazione. In ogni caso la differenza non deve essere maggiore di tre volte lo scarto tipo; se ciò avviene occorrerà studiare attentamente il problema.

La complessità del problema, viene valutata in funzione del numero e del tipo di elementi per i quali è stato osservato un comportamento anomalo o presunto tale. In genere elementi quali: Fe, Cr, Cu, Ag, sono considerati critici, giacché sono senz'altro gli elementi più importanti da valutare nel programma S.O.A.P.

## ***2.5 Il circuito J.O.A.P.***

A partire dal 1992 i Laboratori di Roma e Padova hanno aderito al circuito di correlazione organizzato dal J.O.A.P. (Joint Oil Analysis Program) al quale attualmente partecipano ben 603 Laboratori da tutto il mondo, appartenenti sia ad istituzioni militari sia ad istituzioni private, compresi i 5 Laboratori del Comando Logistico A.M..

Il programma di correlazione è così organizzato:

- ogni laboratorio riceve due coppie di campioni all'inizio di ogni mese;
- la prima coppia è costituita da una soluzione di composti organometallici in olio;
- la seconda coppia, è costituita da una sospensione di particelle metalliche in olio, simulando quindi campioni reali;
- i campioni appartenenti alla stessa coppia hanno concentrazioni nominali identiche che ovviamente non sono note al laboratorio;

- il laboratorio esegue l'analisi dei campioni ed invia i risultati al JOAP TSC (Technical Support Center) di Pensacola.

Il JOAP – TSC esamina i risultati con il seguente criterio:

- vengono calcolate le medie intralaboratorio per ciascun elemento;
- i risultati di ogni Laboratorio vengono confrontati con le medie del circuito;
- se il valore determinato per un elemento cade nell'intervallo  $\bar{x} \pm 1$  ppm (dove  $\bar{x}$  è il valore medio del circuito), il valore si considera corretto, in caso contrario viene considerato corretto solo se rientra nell'intervallo  $\bar{x} \pm 2\sigma$  (dove  $\sigma$  è lo scarto tipo). In caso contrario il valore è considerato statisticamente diverso da quello degli altri Laboratori, pertanto si considera come un errore interlaboratorio, ovvero il Laboratorio in esame non è in grado di rispettare lo stesso livello di riproducibilità degli altri, per l'elemento in esame;
- la ripetibilità viene valutata allo stesso modo della riproducibilità confrontando i risultati delle analisi dei campioni appartenenti alla stessa coppia.

Questa elaborazione è utilizzata per calcolare un punteggio che dipende dal numero e dal tipo di errori (in termini di ripetibilità e riproducibilità) commessi. Tale punteggio può variare da 0 a 100 ma solo se la media dei risultati degli ultimi tre mesi è superiore ad 80, il laboratorio riceve la “certificazione”.

In realtà non tutti i laboratori ricevono una certificazione, poiché questa è riservata ai Laboratori governativi USA. Nel caso dei laboratori dell'A.M., così come per tutti quelli delle componenti NATO, viene data dal JOAP la qualifica “ALLIED” che corrisponde alla certificazione.

I Laboratori che hanno ricevuto questa qualifica possono essere interpellati con sicurezza per dare supporto analitico ad aerei di altri paesi NATO, di passaggio sul territorio nazionale.

Quanto detto è stato stabilito tramite un apposito accordo di standardizzazione tra tutti i Paesi dell'Alleanza Atlantica, ratificato col documento STANAG 7017.

Quest'ultimo aspetto dimostra l'importanza che viene data a questo tipo di controlli in campo aeronautico a livello internazionale.

## ***2.6 Risposta del Laboratorio***

Mediante il sistema di analisi descritto, il Laboratorio è in grado di fornire al Reparto richiedente i valori di concentrazione dei metalli contenuti nell'olio inviato all'analisi. Occorre considerare che non si fornisce al Reparto di volo il semplice risultato analitico ma, in base a valori tabellati caratteristici dei particolari meccanismi (valori di trend e soglie limite), si restituisce un codice che suggerisce all'Ufficiale tecnico eventuali provvedimenti da adottare. In seguito sono riportati i codici utilizzati ed il loro significato.

CODICE	SIGNIFICATO
LCO	Lavaggio del circuito di lubrificazione e Cambio dell'Olio
S	Speciale : effettuare un nuovo campionamento appena possibile
G10	Giallo 10 : effettuare un nuovo campionamento dopo 10 ore di volo (solo elicotteri)
G5	Giallo 5 : effettuare un nuovo campionamento dopo 5 ore di volo
G1	Giallo 1 : effettuare un nuovo campionamento dopo 1 ora di volo
RH	Rosso Hovering : effettuare un nuovo campionamento dopo 30 minuti di funzionamento in hovering (solo elicotteri)
RT	Rosso Terra : effettuare un nuovo campionamento dopo 30 minuti di funzionamento a terra
RF	Rosso Fermo : si consiglia di sbarcare il meccanismo e revisionarlo

**Tabella 1**

Non a caso è stato precedentemente utilizzato il termine “suggerisce”, giacché nel campo manutentivo, i risultati del S.O.A.P. svolgono lo stesso ruolo delle analisi cliniche per un medico che tiene in osservazione un paziente, ovvero un ausilio, a volte determinante, ma pur sempre un ausilio. Il medico usa le analisi cliniche per confermare una diagnosi o per calibrare meglio la terapia: è solo la sua conoscenza del quadro generale e la sua esperienza a decidere come trattare il paziente. Allo stesso modo, nella manutenzione, solo l'Ufficiale tecnico al reparto conosce il quadro generale del meccanismo ed ovviamente spetta a lui stabilire la “terapia” manutentiva.

## ***2.7 Archiviazione dei dati***

Un importante aspetto del programma è costituito dall'archiviazione dei dati. Per comprendere la complessità di questa operazione si consideri che il programma S.O.A.P. è applicato ad un gran numero di velivoli, per un carico di lavoro di circa 20.000 analisi annue. Si consideri inoltre che per archiviare il risultato di un singolo campione sono necessari:

- 15 campi per i valori di concentrazione;
- 1 campo per il tipo di aereo o elicottero;
- 2 campi per le matricole: una relativa al meccanismo sotto controllo ed una all'aereo/elicottero su cui il dato meccanismo è installato;
- 3 campi per Forza Armata o Corpo Armato, Ente, Reparto di appartenenza;
- 2 campi per ore da ultima revisione (DUR) e ore da cambio olio (CO);
- 4 campi per date e protocolli di arrivo e partenza

Quindi ogni analisi (record del database) contiene 27 campi distinti per un totale di circa 500.000 dati da archiviare ogni anno.

Fino a qualche anno fa, l'archiviazione di questi dati veniva effettuata manualmente su supporto cartaceo. Per avere un'idea della mole di lavoro, si consideri che il solo Laboratorio Tecnico di Fiumicino con un carico di lavoro di circa 10.000 analisi annue, impegnava per questo compito mediamente 4 operatori. Attualmente, l'acquisizione di un sistema informatico di archiviazione

dei dati interfacciato direttamente alla strumentazione analitica, ha consentito di ridurre a 2 il numero degli operatori con conseguente recupero di risorse economiche ed umane, investite nell'avvio di altri programmi complementari al S.O.A.P.. In realtà il vantaggio è stato ancora maggiore rispetto a quanto accennato, infatti la semplificazione del sistema ha comportato altresì:

- diminuzione degli errori (trascrizione, battitura);
- aumento dei controlli sulla strumentazione in uso;
- semplificazione e velocizzazione delle procedure di confronto dei dati relativi ad un dato particolare meccanico, anche quando le analisi vengono eseguite a notevole distanza di tempo l'una dall'altra e/o da laboratori diversi.

In sostanza, quest'automazione si è tradotta in un servizio più accurato, più veloce e preciso verso tutti quegli Enti che usano il nostro programma S.O.A.P..

## ***2.8 Normativa Nazionale***

Quanto detto in precedenza non può prescindere dalla normativa che attualmente disciplina il programma S.O.A.P. in ambito Nazionale. Tale normativa è la Prescrizione Tecnica AER.00-42-1B emanata dalla Direzione Generale delle Costruzioni delle Armi e degli Armamenti Aeronautici e Spaziali del Ministero della Difesa nell'ottobre 1997. In essa sono stabiliti fra l'altro:

- procedure e metodi di campionamento;
- provvedimenti da adottare nel caso in cui il contenuto di metalli nel campione di olio analizzato sia risultato in eccesso rispetto a quanto indicato nelle linee guida;
- linee guida provvisorie.

### **2.8.1 Procedure e metodi di campionamento**

Viene stabilito che il campione deve essere prelevato non oltre 30 minuti dopo l'arresto del velivolo, questo per evitare che le particelle metalliche abbiano il tempo di depositarsi.

Viene inoltre individuata l'attrezzatura da utilizzare per il campionamento, il punto in cui effettuare il campionamento, l'intervallo di tempo tra due campionamenti.

### **2.8.2 Provvedimenti**

Il provvedimento S.O.A.P. è un codice che viene assegnato ad ogni analisi e che indica se il risultato è normale o se si è in presenza di un potenziale problema. I vari codici adottati sono stati riportati nella tabella 1.

In linea con la filosofia del programma, il provvedimento non può e non deve interferire con quanto stabilito dai manuali del velivolo, in sostanza come detto in precedenza, è solo un "suggerimento".

### 2.8.3 Linee guida provvisorie

Le linee guida rappresentano i valori massimi di incremento della concentrazioni dei vari metalli, in un intervallo di tempo corrispondente ad un cambio d'olio. Tali valori sono stati determinati in fase di messa a punto dei vari velivoli e vengono aggiornati durante la vita operativa degli stessi.

### **3. Alcuni numeri del programma S.O.A.P.**

Per valutare meglio quale possa essere l'impegno in termini di risorse economiche ed umane a carico di un Laboratorio dell'A.M. nello svolgimento del programma, è parso opportuno riportare almeno alcuni dati relativi al solo 2001 ed al Laboratorio di Fiumicino :

N° di analisi svolte per l'Aeronautica Militare	2525	(17 Enti)
“ “ “ “ l'Esercito	1597	(12 Enti)
“ “ “ “ i Carabinieri	1103	(4 Enti)
“ “ “ “ la Polizia	743	(3 Enti)
“ “ “ “ la Guardia di Finanza	1307	(7 Enti)
“ “ “ “ i Vigili del Fuoco	4	(1 Ente)
<b>Totale</b>	<b>7279</b>	<b>(44 Enti)</b>

I campioni della precedente tabella sono da suddividere in :

- 6564 campioni provenienti da elicotteri;
- 555 campioni provenienti da motori di aviogetti;
- 160 campioni provenienti da motori turboelica.

Per quanto attiene i campioni provenienti da elicotteri, questi vanno suddivisi per tipo di velivolo (10 modelli da noi controllati) e per ciascun tipo, in base alla tipologia di meccanismo (motore, trasmissione principale, scatole a 42° e 90°, riduttori, ecc.). Un altro rapido calcolo, porta a stabilire che, stimando in circa 43 € il costo di una singola analisi (solo spese vive, senza considerare le spese del personale), si ottiene una spesa di 313.000 € sempre per il solo Laboratorio di Fiumicino. Allo stesso modo, calcolando l'impegno economico per i rimanenti laboratori, è possibile stimare una spesa di circa 725.000 €.

### **4. Breve storia di un recente successo**

Nelle seguenti pagine è stata riportata la relazione 03/01 della Ditta Agusta di Montepreandone che ha eseguito la revisione sulla trasmissione principale di un elicottero NH500 del Centro Aviazione Rosso Nero. Al punto 8 della relazione si vede che la causa dello sbarco della trasmissione ed il susseguente invio in ditta è dovuto alle segnalazioni S.O.A.P. da parte del Laboratorio.

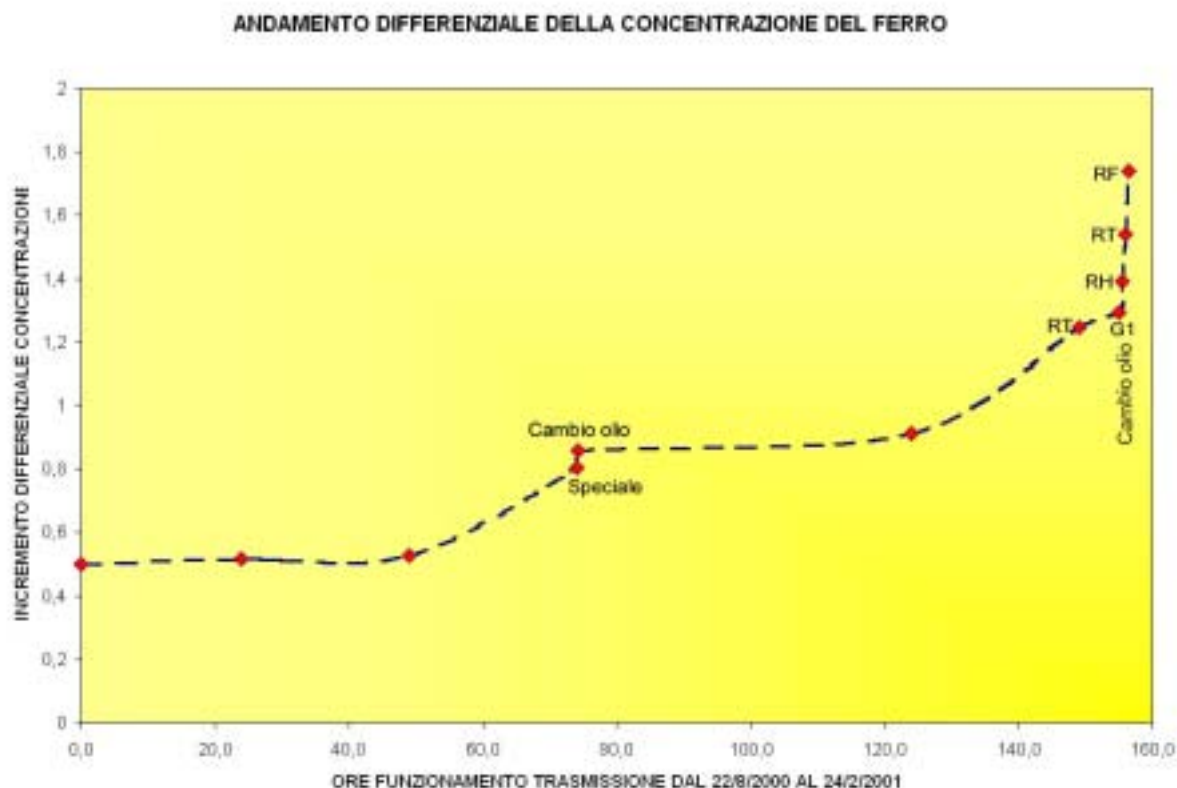
Al punto 18 della relazione, vengono descritte le operazioni ispettive e riportate le osservazioni su quanto riscontrato; in particolare:

- usura dei denti della corona della presa di moto della trasmissione;
- usura del pignone conico della presa moto in corrispondenza del cuscinetto;
- solchi sui cuscinetti di stabilizzazione;

e tutto ciò quando mancavano circa 120 ore di volo (cfr. punto 21 della relazione) alla normale scadenza per l'effettuazione della revisione della trasmissione principale.

In questo caso, grazie all'allarme derivante dall'oggettivo riscontro di un improvviso aumento della concentrazione del ferro nell'olio di lubrificazione della trasmissione, è stato possibile evitare la probabile rottura della stessa e l'altrettanto probabile perdita del velivolo e del suo equipaggio.

Nella fig. 4 è possibile vedere in formato grafico, l'evidenza dell'andamento anomalo dei risultati S.O.A.P., relativamente alla concentrazione del Fe della trasmissione principale.



**fig. 4 – Incremento differenziale della concentrazione del Fe in funzione delle ore di funzionamento della trasmissione principale di un elicottero NH500**

Sicuramente da non sottovalutare, relativamente al caso in questione, è la ricaduta manutentiva che questo evento ha determinato. Come si evince dal punto 19 della relazione, la causa dell'incipiente avaria è stata individuata in un difetto di fabbricazione di alcune parti della trasmissione principale; come conseguenza (cfr. punto 21) è stato proposto di effettuare una verifica (prevenzione !) su tutte le trasmissioni che montano parti provenienti dallo stesso lotto di questo trovato difettoso, ed in definitiva, probabilmente da questa segnalazione deriverà un particolare programma manutentivo preventivo che potenzialmente eviterà altri possibili/probabili rotture su trasmissioni montate su altri velivoli.

<b>RELAZIONE TECNICA</b> <b>n° 03/01</b>		Data 29/01/02	
		Aeromobile tipo NH500MC	
1.S.I. n° T/Ca-2/2001-01	Del 9/3/01	Data inconveniente 24/02/01	
2. Ente decisionale D.G.A.A. ARMAEREO 6° DIVISIONE 4° SEZIONE	Estremi R.I. 01/01/NH500 del 19/07/01		
3. Enti partecipanti all'indagine AGUSTA Monteprendone (Servizi Tecnici, Qualità) UTT Napoli			
4. Particolare difettoso (denominazione) ASSIEME TRASMISSIONE PRINCIPALE	NDR	S/N	
	369A5100-709	NH500	
		NDC	
		/	
5. Complessivo superiore (denominazione) INSTALLAZIONE ORGANI DI TRASMISSIONE	NDR	S/N	
	369H5600	/	
		NDC	
		/	
6. Estremi Catalogo Nomenclatore AER.1H-NH500M-4	N° fig.	N° part.	
	6-9	/	
7. Estremi o Reparto di provenienza del particolare difettoso CENTRO AVIAZIONE ROSSO NERO			
8. Motivo dell'invio in ditta (punto 22 della S.I.) Durante un monitoraggio di controlli soap, riscontrati crescenti valori anomali di ferro oltre la soglia limite consentita, come sotto indicato:			
DATA	D.U.R.	Fe ppm	PROCEDURA CONSIGLIATA
12.02.01	2273	50.2	"R/T"
19.02.01	2279	7.3	"R/T" dopo sost.olio
20.02.01	2279	7.6	"R/H"
22.02.01	2280	8.5	"R/T"
24.02.01	2280	7.5	"R/F"
il laboratorio, all'ultimo prelievo, ha consigliato il codice "ROSSO FERMO"			
9. Movimenti del materiale /	a) Data invio all'UST (estremi documento di spedizione) 23/04/01 (13132/5355/3/L)		
	b) Data ricezione UST 31/5/01	c) Data consegna a Ditta 31/05/01	
10. Ditta Costruttrice	MDHI		
11. Ditta che ha effettuato un'ultima RIP/REV		AGUSTA Monteprendone	
12. Data di Consegna A.D.	a) da nuovo	b) dopo ultima RG	c) dopo ultima RIP
		27/11/87	
13. Ore funzionamento  Tot. 3479:25    DUR 2280:25		14. Nei termini di garanzia SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	

# RELAZIONE TECNICA

n°03/01

Data 29/01/02

Foglio 2 di 3

## 15. Precedenti interventi

N.N.

## 16. Costatazioni e rilievi all'arrivo

Il particolare è pervenuto imballato, assemblato e correttamente preservato.

## 17. Dati degli assiemi o accessori principali

N.N.

## 18. Indagini espletate e danni riscontrati

La commissione ha deciso di effettuare lo smontaggio dell'assieme e la ispezione visiva e dimensionale dei componenti disassemblati in accordo a quanto riportato nel manuale AER. 1H-NH500M-3.

Si è rilevato quanto segue:

- la corona dentata P/N 369A5108-31 S/N 005570-0083 presenta numerosi denti con sfaldamento di materiale al di sopra delle zone usurate;
- il pignone conico di entrata moto P/N 369A5107-31 S/N 005570-0007 usurato in corrispondenza della sede del cuscinetto 369A5180;
- i cuscinetti PP/NN 369A5199-3, 369A5195, 369A5196, 369A5138, 369A5180, 369A5258, 369A5193, 369A5198-3, presentano solchi marcati ;
- Il tappo di rifornimento P/N F9250A fessurato.

La commissione, in base ai rilievi riscontrati, ha deciso di procedere nelle indagini effettuando il controllo della durezza superficiale dei denti del pignone conico di entrata moto, rilevando valori conformi a quanto previsto in sede di progetto, ed al sezionamento della corona dentata P/N 369A5108-31 (la quale risulta essere di scarto, cfr. AER.1H-NH500M-3, fig. 4-26), allo scopo di effettuare un' indagine metallografica e di microdurezza: per quest'ultimo particolare, è stato rilevato un valore di durezza superficiale di 58 Rc laddove il valore richiesto a disegno è pari a 60±63 Rc. E' stata quindi analizzata la composizione chimica del materiale costituente la corona (acciaio SAE 9310 sec. AMS 6265) verificando che esso è conforme a quanto previsto a disegno.

## 19. Cause presunte ed accertate

L'usura rilevata sulla corona dentata (con ore totali 1382:15) è da attribuirsi al valore misurato della sua durezza superficiale, inferiore a quello previsto a disegno, derivante da un non corretto trattamento termico. Il progressivo degrado del particolare ha, in seguito, condotto al graduale deterioramento degli altri particolari della trasmissione R/P, con l'esclusione del tappo, risultati inefficienti.

## 20. Situazione casi analoghi precedenti

N.N.

# RELAZIONE TECNICA

n°03/01

Data 29/01/02

Foglio 3 di 3

## 21. Lavori da effettuare

Poiché mancano 119:35 ore di funzionamento al raggiungimento del limite di revisione dell'assieme trasmissione R/P, si propone di effettuare la revisione generale dell'assieme e quindi di rimontarlo avendo sostituito, poiché risultano essere di scarto (cfr. AER.IH-NH500M-3, fig. 4-26), con analoghi efficienti, la corona dentata P/N 369A5108-31, i cuscinetti 369A5199-3, 369A5195, 369A5196, 369A5138, 369A5180, 369A5258, 369A5193, 369A5198-3, ed il tappo P/N F9250A; il pignone conico di entrata P/N 369A5107-31, che risulta essere inefficiente, può essere rilavorato per ripristinare le corrette dimensioni.

## 22. Proposte relative e provvedimenti correttivi

Non si ritiene opportuno intraprendere specifici provvedimenti correttivi oltre ai normali controlli già previsti nella manualistica applicabile.

Allo scopo di prevenire eventuali casi analoghi, sarà emessa, entro breve tempo, la P.T.D. n° 500-186 per identificare, e sottoporre ad opportuni controlli, le corone dentate, P/N 369A5108-31, aventi lo stesso lotto di trattamento termico della corona dentata esaminata nella presente S.I. eventualmente installate negli assiemi trasmissione R/P, P/N 369A5100-709.

## 23. Altre eventuali comunicazioni

N.N.

## 24. Carico delle spese

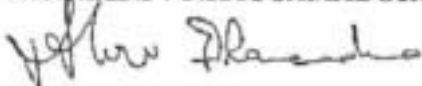
Le spese per le indagini e la eventuale rimessa in efficienza sono a carico del Comando CENTRO AVIAZIONE ROSSO NERO

## 25. Allegati

N.N.

DITTA

M.MARINI / F.RACCAMADORO

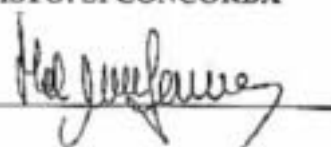


MINISTERO DIFESA

D.G.A.A.

UFF. TECN. TERR. NAPOLI

VISTO: SI CONCORDA



## 5. Progetti futuri

E' stata descritta sinora una parte dell'attività manutentiva preventiva condizionata svolta dai laboratori dell'A.M., riportando anche un recente caso in cui la corretta lettura della storia che qualche goccia d'olio ha saputo raccontarci ha evitato di portare a probabili drammatiche conclusioni. Purtroppo non è sempre così semplice ottenere riscontri della bontà del nostro lavoro. Spesso i meccanismi smontati dai velivoli vengono sottoposti ad una parziale revisione direttamente dal Reparto di volo, il quale, sostituendo alcune parti "chiave" con ricambi disponibili in loco, ripristina in breve tempo la funzionalità del velivolo, ma allo stesso tempo ci priva di tutta una serie di informazioni preziose come quelle dedotte nel precedente caso preso in esame. Questo aspetto comunque attiene all'organizzazione interna della F.A., invece dal punto di vista del metodo e necessario ribadire che l'analisi spettrometrica di fatto non è in grado di dare informazioni su particelle con diametro superiore ai 10µm e non consente di stabilire né le cause che hanno originato un dato frammento, né la distribuzione granulometrica.

Importanti informazioni di questo tipo sarebbero ottenibili tramite analisi ferrografica e granulometrica; tuttavia, dato il gran numero di analisi svolte routinariamente nei nostri Laboratori, sarebbe impensabile implementare per tutti i campioni le ulteriori suddette indagini. Da una stima approssimativa, occorrerebbero circa 2 ore per ogni campione, ovvero circa 3.000 giorni lavorativi annui che, col nostro personale ed il nostro parco strumentazione non sono ottenibili. E' inoltre necessario ricordare che l'analisi ferrografica è un'operazione abbastanza complessa il cui risultato è in gran parte affidato all'esperienza ed alle conoscenze dell'operatore.

Un ulteriore campo di indagine per quanto attiene la manutenzione predittiva, e del quale non si è sinora fatto cenno, riguarda non il contenuto intrinseco dei metalli nell'olio, bensì lo stato stesso dell'olio.

Un lubrificante è in effetti costituito da una base idrocarburica minerale o sintetica con ben determinate caratteristiche chimico-fisiche, e da una serie di additivi che svolgono varie funzioni.

I cicli meccanici e termici e l'ambiente nel quale l'olio svolge il compito di lubrificazione portano, nel tempo, a modifiche degradanti della composizione e delle caratteristiche chimico-fisiche del lubrificante.

Data l'importanza che una corretta lubrificazione assume nel quadro di buon funzionamento di un meccanismo, sarebbe auspicabile controllare che le caratteristiche del lubrificante non varino sostanzialmente da quelle richieste in fase di disegno del meccanismo, piuttosto che affidarsi a semplici valutazioni temporali medie che portano a cambiare il lubrificante ogni certo numero di ore di funzionamento del meccanismo lubrificato.

Questo tipo di analisi può essere svolto con l'ausilio di una strumentazione FTIR (Fourier Transform Infra Red), di cui i nostri Laboratori sono dotati e con i quali si eseguono attualmente altre tipologie di analisi.

### 5.1 Lasernet

Tenuto conto di queste problematiche, da circa un anno è stata acquisita una nuova apparecchiatura "LASERNET" prodotta dalla SPECTRO Inc., con la quale

è possibile ottenere informazioni sulla distribuzione granulometrica delle particelle, nonché informazioni sull'origine delle stesse.

L'apparecchiatura in questione è progettata sia come strumento da banco da utilizzare in Laboratorio, sia come strumento da installare in linea per il monitoraggio di grossi impianti. L'apparecchiatura (vedi fig. 5 per uno schema di funzionamento a blocchi) è costituita da una pompa peristaltica per il prelievo del campione di olio, che viene fatto fluire attraverso una cella di quarzo. La cella è attraversata da un raggio laser che proietta le ombre prodotte da:

- particelle metalliche e non metalliche;
- bolle d'aria;
- bolle d'acqua;

sulla focale di una telecamera digitale che acquisisce le immagini; successivamente, per mezzo di un software basato su reti neurali, queste vengono rielaborate restituendo le seguenti informazioni:

- conteggio e granulometria delle particelle;
- differenziazione per tipologia tribologica;

l'elaborazione è indipendente dalla viscosità dell'olio, e non necessita di taratura, infatti:

- la misura del numero di particelle è legata alla velocità di acquisizione delle immagini e quindi alla capacità ed alla velocità di memorizzazione delle stesse;
- le dimensioni delle particelle sono stabilite in base al numero di pixel di contrasto contate sull'immagine digitalizzata.

La semplicità d'uso dell'apparecchiatura che permette di eseguire l'analisi in tempi estremamente brevi, senza alcuna valutazione di carattere soggettivo e senza alcuna manipolazione del campione, rende questo strumento particolarmente interessante.

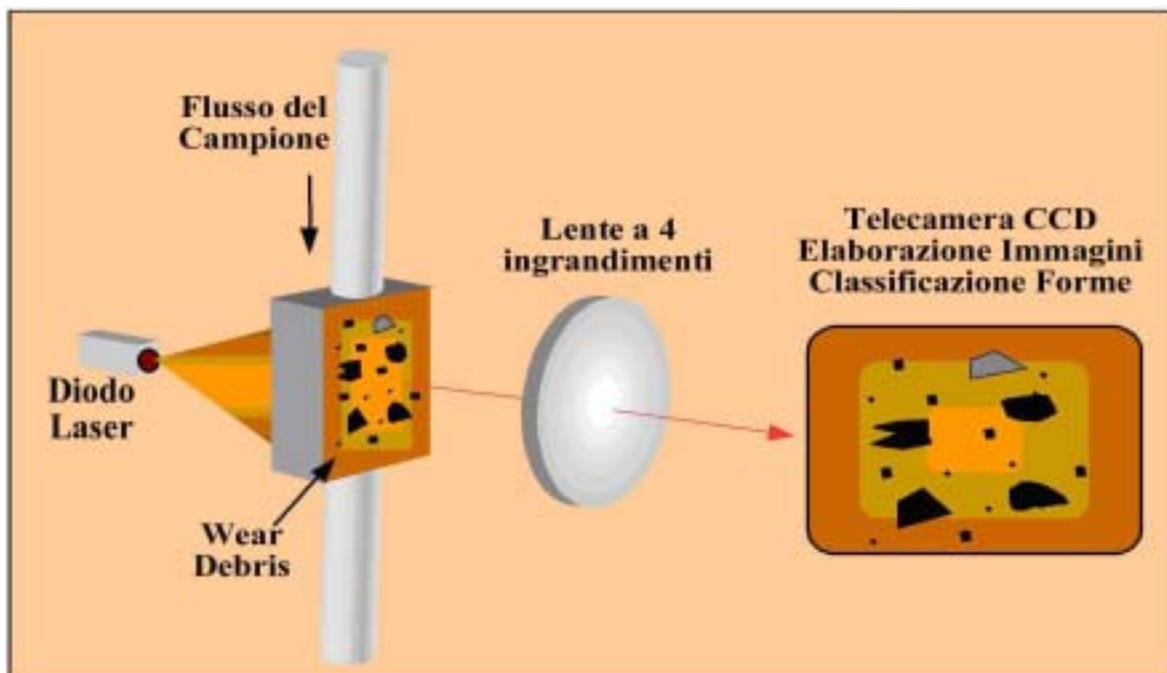


fig. 5 - Schema di funzionamento a blocchi della strumentazione LASERNET

Con il LASERNET stiamo attualmente svolgendo un programma analitico utilizzando i campioni del programma S.O.A.P., allo scopo di verificare possibili correlazioni ed integrazioni con:

- i risultati derivanti dall'analisi S.O.A.P.;
- gli inconvenienti meccanici che si verificano sui vari particolari soggetti a lubrificazione.

A tale scopo è stato deciso di tenere sotto costante controllo, almeno due velivoli per ogni tipo di quelli monitorizzati con il programma S.O.A.P., ovvero 12 motori e 25 scatole di trasmissione. Inoltre ogni qualvolta l'analisi S.O.A.P., anche per campioni al di fuori di quelli precedentemente considerati, evidenzia risultati anomali, il meccanismo in questione viene controllato con il LASERNET sino a quando non rientri nella normalità o venga sbarcato. Tutto questo comporta un carico di lavoro che è possibile stimare in circa 1.000 campioni annui.

Nell'immediato, i dati ottenuti sono utilizzati come informazioni supplementari dall'operatore S.O.A.P. per decidere il tipo di provvedimento da consigliare all'Ente committente. Nelle pagine seguenti si riportano alcuni esempi dell'utilizzo dei dati ottenuti con il LASERNET integrati con l'analisi S.O.A.P..

# 1° ESEMPIO

Elicottero A109

DUR	Ore Cambio Olio	Analisi S.O.A.P.								Provv.	Dati LASERNET							
		Ag	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Si	$N_{Tot}$		classi dimensionali ( $\mu m$ )				classi tribologiche			
											< 15	15-25	25-50	>50	Taglio	Attrito	Fatica	Ossidi
308,55	2,00	0	1	1	1	0	11	6	G/5	16575	14683	1712	178	2	19	51	356	27
313,55	5,00	0	2	1	1	1	20	12	G/1	18468	16524	1840	101	3	2	16	401	3
314,55	1,00	0	1	0	0	0	10	10	G/1	20258	17891	2198	168	2	5	27	506	3
315,40	0,75	0	1	1	0	1	19	16	R/H	24044	20815	2894	333	3	5	50	779	5
316,40	1,00	0	0	0	0	0	3	2	G/1	5488	4960	502	26	0	3	5	106	3
318,00	1,33	0	0	0	0	0	6	4	G/1	6568	6078	463	26	2	6	3	68	3
319,30	1,50	0	0	0	0	0	3	4	G/1	6406	5369	943	91	3	6	12	225	5
319,45	0,25	0	1	0	1	0	2	2	R/H	5535	4697	712	125	2	8	15	264	8
320,15	0,50	0	0	0	0	0	2	2	G/1	5130	4419	651	58	2	6	26	134	12
320,30	0,25	0	0	0	0	0	2	2	G/1	2955	2609	330	16	0	0	6	57	3
326,10	5,66	0	1	0	1	0	9	6	G/5	4284	3918	317	48	2	6	14	68	14
331,10	5,00	0	0	0	0	0	5	8	G/10	7993	6832	1040	117	3	2	31	260	12

I dati in questione si riferiscono ad un elicottero, in particolare si tratta della scatola di trasmissione del rotore di coda, la cosiddetta scatola 90°, di un elicottero A109.

Da notare che le ore DUR (Da Ultima Revisione) si riferiscono alle ore totali di volo del velivolo trascorse dall'ultima revisione (i decimali sono espressi in minuti: 0,45 = 45 minuti) mentre le ore da Cambio Olio (CO) si riferiscono alle ore di funzionamento del meccanismo a partire dall'ultimo cambio dell'olio (i decimali sono espressi in centesimi di ora: 0,50 = 30 minuti). Nell'osservare una tabella di questo tipo, occorre fare attenzione non solo ai valori di concentrazione od al numero di particelle in quanto tali, bensì al loro valore relativo rispetto alle ore da CO, ovvero il lasso di tempo in cui questi sono stati prodotti. Detto questo, possiamo osservare con più attenzione la tabella dei dati: è possibile notare un aumento di concentrazione relativa del Fe con un picco a 315,40 ore DUR, ed in effetti il provvedimento S.O.A.P. suggerito è stato un RH; la concentrazione relativa del Fe si abbassa nelle ore successive per poi rialzarsi a 319,45 ore DUR dove viene suggerito nuovamente un provvedimento RH. In effetti, la produzione di sole 2 ppm di Fe, anche se in soli 15 minuti di funzionamento porterebbero ad optare per un provvedimento più permissivo, ma a ben guardare, si sono prodotte in breve tempo anche 1 ppm di Al ed 1 ppm di Cr, e c'è stato un netto aumento della produzione di particelle. Nell'ambito degli studi di correlazione effettuati presso il Laboratorio di Fiumicino, allo scopo di integrare in qualche modo (ovviamente soltanto in fase del tutto sperimentale e come primo approccio data l'esiguità dei dati sino ad ora raccolti) sono state messe a punto alcune formule matematiche semiempiriche per il calcolo di coefficienti denominati  $IP_{(el)}$  (indici di pericolosità di un elemento) che tengono conto del tempo di funzionamento del meccanismo a partire dal cambio dell'olio, della concentrazione del dato elemento e del suo rapporto con le concentrazioni degli altri elementi

determinati, del numero e della granulometria delle particelle determinate con il LASERNET. Uno dei coefficienti provati e che ha dato i migliori risultati (in termini di sensibilità e di accordo con l'esperienza degli analisti) è dato da :

$$IP_{(el)} = K_{(el)} \cdot C_{(el)}$$

dove  $C_{(el)}$  è la concentrazione di uno dei 15 elementi determinata mediante l'analisi S.O.A.P. divisa per il numero di ore da Cambio Olio, e  $K_{(el)}$  è la costante:

$$K_{(el)} = \frac{C_{(el)} \cdot \sum_{j=1}^4 (N_j \cdot r_j^3)}{N_{Tot} \cdot \sum_{i=1}^{15} C_i}$$

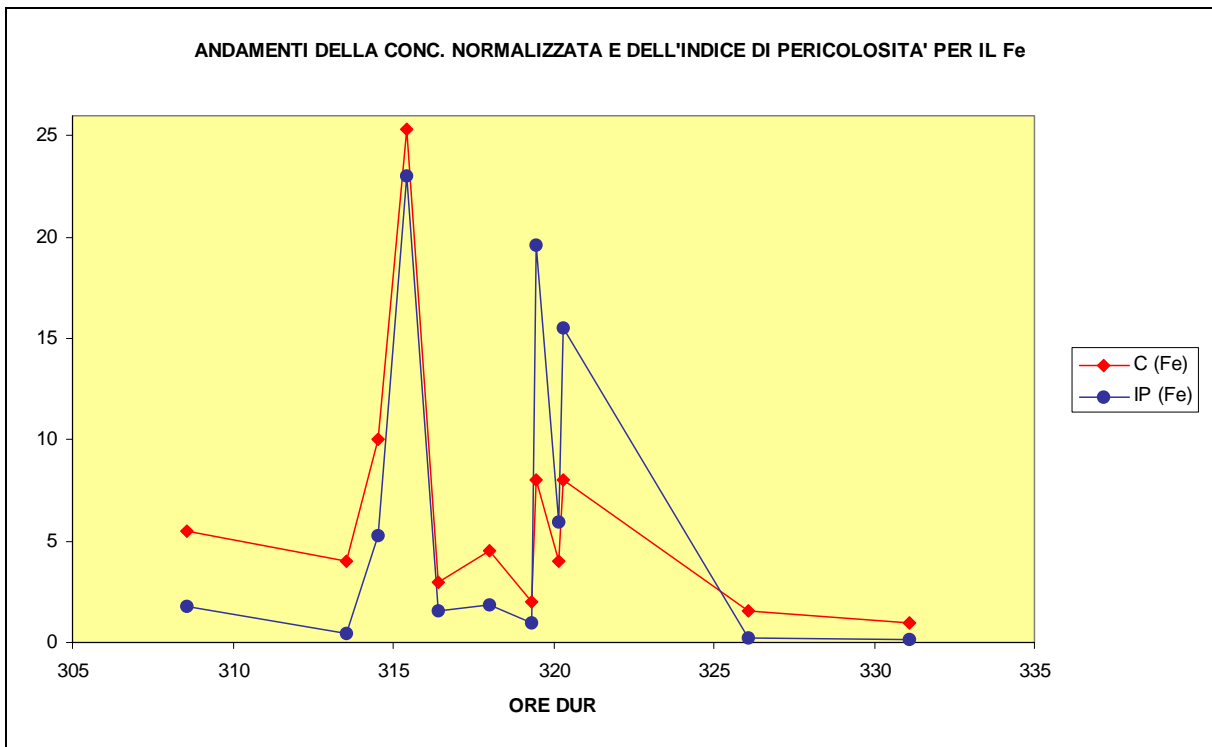
dove :

$N_j$  è il numero di particelle appartenente alla j-esima classe dimensionale;

$r_j$  è il raggio medio delle particelle appartenente alla j-esima classe dimensionale;

$N_{Tot}$  è il numero totale di particelle.

Nel grafico in basso sono riportate la  $C_{(Fe)}$  (in ppm) e l'indice  $IP_{(Fe)}$  (scala arbitraria) per i dati dell'esempio.

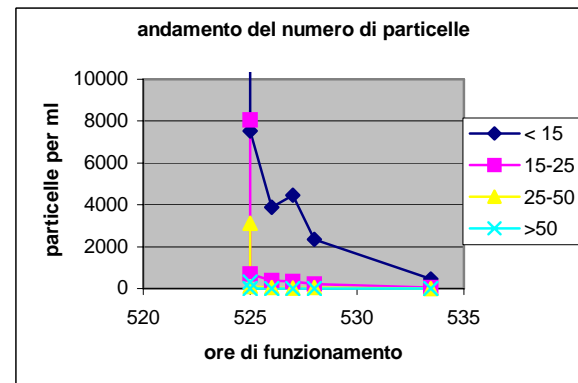
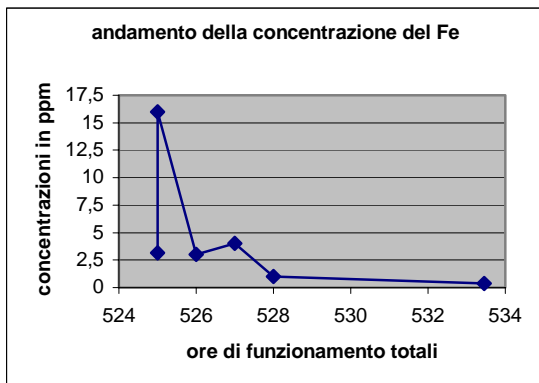


## 2° ESEMPIO

Elicottero AB206

DUR	Ore cambio olio	Analisi S.O.A.P.										Provv.	Dati LASERNET							
		Ag	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Mg	Si	< 15		15-25	25-50	>50	Taglio	Attrito	Fatica	Ossidi	
525,00	25,25	0	16	5	8	1	80	1	27	8	R/T	1074451	203267	78827	7684	4505	23007	88091	19945	
525,50	0,5	0	2	1	1	0	8	0	3	2	R/H	3759	345	51	5	8	28	72	11	
527,00	1,00	0	1	0	0	0	3	0	1	1	G/1	3887	387	52	3	12	9	74	31	
528,00	1,00	0	1	0	0	0	4	0	1	1	G/1	4462	336	28	0	3	6	77	8	
529,00	1,00	0	0	0	0	0	1	0	0	0	G/5	2347	218	43	3	8	20	62	5	
534,45	5,45	0	0	0	0	0	2	0	1	1	G/10	2529	271	46	5	8	11	66	31	

In questo caso i dati dimostrano che il valore anomalo riscontrato a 525 ore DUR, è da ritenere un fenomeno occasionale, forse legato ad una particolare attività di volo svolta in quella particolare circostanza o molto più probabilmente ad un erroneo campionamento (campionamento “sporco”). Tale conclusione è ulteriormente supportata dai dati della conta delle particelle che rientrano nell’assoluta normalità dopo il provvedimento S.O.A.P., R/T.



### 3° ESEMPIO

Elicottero AB412

DUR	Ore cambio olio	Analisi S.O.A.P.										Provv.	Dati LASERNET						
		Ag	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Mg	Si	< 15		15-25	25-50	>50	Taglio	Attrito	Fatica	Ossidi
1622,50	24,20	0	127	12	0	0	45	0	26	927	S	1972	217	42	0	13	8	59	22
1629,45	1,00	0	1	1	0	0	0	0	0	7	G/1	8903	244	83	8	2	29	84	40
1630,45	1,00	0	1	3	0	0	1	0	0	6	G/5	14905	519	158	15	32	55	164	63
1631,45	1,00	0	0	4	0	0	1	0	0	5	G/5	13024	273	106	17	19	41	82	45
1647,50	5,40	0	2	25	1	0	2	1	1	10	G/10	30015	727	283	25	34	97	294	14

La situazione che si presenta in questo caso è abbastanza tipica ed è dovuta all'inquinamento dell'olio da parte di un grasso utilizzato sull'asse del rotore di coda.

Il grasso in questione è stato più volte analizzato e si è riscontrato che:

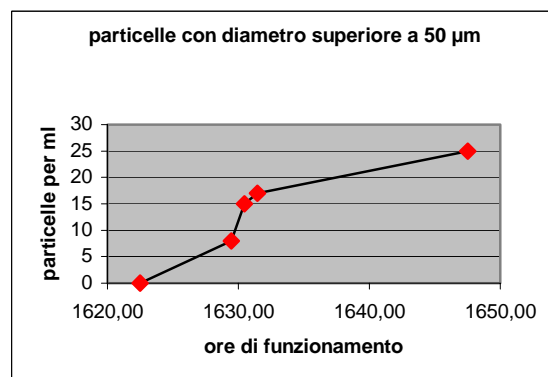
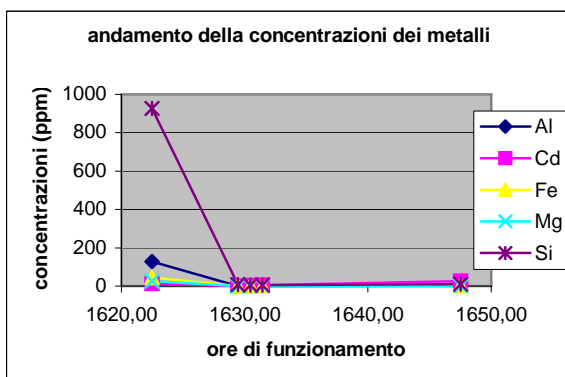
- è a base silconica;
- tra i vari additivi sono presenti composti organometallici contenenti Fe, Al, Mg.

Pertanto all'analisi S.O.A.P. si riscontrano altissime quantità di Si e quantità variabili di Al, Fe, Mg. Gli elementi in questione, scompaiono del tutto dopo che l'interno della scatola, è stato lavato con opportuni solventi.

In questo caso l'ipotesi formulata è confermata dalla conta delle particelle, infatti come si può vedere l'analisi S.O.A.P. più anomala, corrisponde al valore più basso nella conta delle particelle.

Il dato che emerge è che questo tipo di inquinamento ha comunque un effetto negativo sulla scatola di trasmissione, infatti dopo il lavaggio anche se il grasso in eccesso è stato completamente eliminato, si ha un costante aumento del numero totale di particelle, ed in modo particolare di quelle con diametro superiore a 50 µm, non rilevabili dall'analisi spettrometrica.

Ulteriori informazioni in casi di questo genere, si potranno avere solo dopo che sarà stato possibile esaminare diversi eventi simili e per tempi molto più lunghi.



In conclusione è chiaro che i dati raccolti sino ad oggi, sono molto utili per formulare con maggiore sicurezza delle ipotesi su situazioni di potenziale pericolo, ma è necessario attendere le risposte della manutenzione, per poter avere dei riscontri più precisi.

Per ottenere le necessarie conferme occorrono tempi piuttosto lunghi, sia per la gran mole di dati che è necessario raccogliere per testare modelli ed ipotesi, sia perché quando un dato meccanismo entra nel ciclo manutentivo, di norma i tempi necessari per una corretta diagnosi delle varie problematiche, sono dell'ordine delle decine di mesi.

## **5.2 FTIR**

Le tecniche esaminate fino ad ora sono mirate all'esame dei residui metallici nell'olio, ma in nessun caso è possibile ottenere informazioni sulle caratteristiche del lubrificante. Per trattare questo aspetto è possibile operare in due modi distinti. Un metodo è quello di eseguire una serie di analisi quali:

- contenuto degli additivi;
- viscosità;
- residui carboniosi;
- acidità totale;
- umidità.

L'esecuzione di tutte queste analisi richiede tempi piuttosto lunghi e quindi assolutamente non compatibili con l'operatività di un mezzo militare.

Il metodo che consente di esaminare le caratteristiche di un olio in modo relativamente semplice e veloce, è l'analisi via FTIR. E' noto da tempo che lo spettro IR di un dato materiale contiene un'enorme quantità di informazioni, ed in modo particolare nel caso dei lubrificanti, da tempo, sono state ottenute delle ottime correlazioni con parametri quali:

- acidità totale;
- viscosità;
- residui carboniosi;
- umidità;
- additivi.

L'unico problema è costituito dal fatto che i metodi attualmente in uso richiedono un confronto tra l'olio "nuovo" e quello usato. Tale confronto deve essere fatto utilizzando olio proveniente dallo stesso lotto di produzione, cosa quasi mai possibile nel caso di un'organizzazione articolata come quella delle Forze Armate. Si consideri solo il fatto che i velivoli in dotazione sono sempre più spesso utilizzati all'estero dove vengono, almeno in parte, supportati logisticamente, da altri Paesi.

Quindi l'approccio da dare a questo tipo di analisi deve essere dello stesso genere di quello adottato per il S.O.A.P., ovvero non tener conto dell'accuratezza del risultato, ma solo della precisione, prendendo in considerazione il trend di variazione dei parametri in questione.

Questo comporta, come nei casi precedenti, l'acquisizione di un grande numero di analisi ed il relativo confronto con i dati provenienti dalla manutenzione ed i limiti stabiliti dal costruttore.

Attualmente i Laboratori dell'A.M. dispongono di strumenti FTIR, uno per ogni Laboratorio Tecnico di Controllo, con i quali si eseguono già diverse tipologie di analisi quali:

- controllo qualità dell'ossigeno;
- additivi nei carburanti;

inoltre si sta cercando di attivare:

- analisi dell'amianto;
- analisi lubrificanti.

In particolare per quanto riguarda l'analisi dei lubrificanti, si è ancora nella fase iniziale di definizione del metodo più consono ai nostri scopi, ovvero una metodica rapida e di semplice attuazione.

## **6. Conclusioni**

Abbiamo descritto, in modo non certo esaustivo ma abbastanza descrittivo, l'impegno dei Laboratori Tecnici di Controllo dell'Aeronautica Militare nel complesso mondo della manutenzione predittiva. Non è semplice per dei Laboratori come i nostri, nati e strutturati per un'attività di controllo, muoversi in un mondo complesso ed in continua evoluzione, ambiente sicuramente più consono ad un Laboratorio di ricerca applicata.

Speriamo tuttavia di aver dato un minimo contributo conoscitivo a tutti coloro si occupano dell'attività manutentiva predittiva, circa queste peculiari applicazioni strumentali proprie dell'ambiente aeronautico ma che stanno negli ultimi anni abbracciando campi ed attività sempre più vaste e diversificate.

Per quanto attiene le attività complementari alle analisi S.O.A.P., abbiamo riportato la nostra piccola esperienza sperando di ottenere in tempi ragionevolmente brevi, sufficienti dati di ritorno al fine di mettere a punto un sistema predittivo più "robusto", efficace ed efficiente.