

L'ENERGIA TERMICA

RIVISTA TECNICA MENSILE

SOTTO GLI AUSPICI DEL

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

ORGANO UFFICIALE

"DEL COMITÉ INTERNATIONAL PERMANENT DU CARBONE CARBURANT,"

PREMIATA DALLA REALE ACCADEMIA D'ITALIA

<p>Condizioni d'Abbonamento per il 1941</p> <p>ITALIA E COLONIE . . . L. 40.- ESTERO L. 60.-</p> <p>Gli abbonamenti sono pagabili presso tutte le Filiali del Regno e Colonie del BANCO DI ROMA</p>	<p>DIRETTORE: Dott. Ing. SERAFINO de CAPITANI</p> <p>Direzione e Amministrazione: MILANO PIAZZA CINCINNATO, 6 - TEL. 21-005</p>	<p>PUBBLICITÀ (Chiedere tariffe e preventivi)</p> <p>Le inserzioni si ricevono direttamente presso la nostra Amministrazione</p>
---	---	--

SOMMARIO DEI N. 7-8



Articoli originali:

	pag.
<i>Dott. Ing. AURELIO C. ROBOTTI Ten. G. A. - Problemi inerenti all'impiego delle candele nei moderni motori d'aviazione</i>	142
<i>Dott. Ing. ALESSANDRO SIRTORI - L'impiego nei motori a scoppio della naftalina sciolta in combu- stibili liquidi</i>	152

Combustibili e Carburanti:

Impiego del legno nelle installazioni di riscaldamento centrale	157
--	-----

Notizie varie:

La turbina a combustione e le sue possibilità	157
I « giorni grado » e la determinazione del consumo negli impianti di riscaldamento (S. de Capitani)	159

Personalia:	160
------------------------------	-----

Doct. Ing. AURELIO C. ROBOTTI Ten. G. A.

Problemi inerenti all'impiego delle candele nei moderni motori d'aviazione.

Ueber die Verwendung der Zündkerzen in den modernen Flugzeugmotoren

Problèmes concernant l'emploi des bougies dans les moteurs d'aviation modernes.

Problemas inherentes al empleo de las candelas, en los motores modernos de aviación.

Sommario. — Lumeggiata l'importanza della sicurezza di funzionamento delle candele in aviazione, si esaminano le qualità che esse debbono possedere e si accenna alle difficoltà che si oppongono al raggiungimento dei requisiti desiderabili per l'impiego delle candele stesse nei moderni motori aeronautici, caratterizzati dallo sviluppo di elevate potenze volumetriche e dal conseguente uso di carburanti etilizzati.

Gli inconvenienti più importanti che ne derivano consistono in una rapida erosione degli elettrodi ed in una caduta d'isolamento delle candele.

Si descrivono esperienze condotte al fine di attenuare entrambi gli inconvenienti e si illustrano i risultati ottenuti.

Dott. Ing. AURELIO C. ROBOTTI Ten. G. A.

Problemi inerenti all'impiego delle candele nei moderni motori d'aviazione.

In aeronautica, più che in ogni altro campo di impiego del motore a scoppio, si suole anettere grande importanza e cura alla candela di accensione. In verità questo organo, dal quale per ovvii motivi in aviazione si esige la massima sicurezza di funzionamento, presenta nei motori aeronautici, assai più spesso che non in quelli per la locomozione terrestre, gravi disfunzioni a causa delle condizioni particolarmente gravose del suo esercizio. Queste sono dovute alla elevata temperatura che accompagna lo sviluppo delle alte potenze volumetriche, agli elevati regimi di funzionamento, all'uso di speciali carburanti ed, infine, alle rapide variazioni di temperatura, pressione, umidità dell'aria nelle quali il motore, installato sui veloci velivoli moderni, si trova a dover funzionare.

Conseguenza di tale severità di cimenti è il verificarsi di combustioni mancate o imperfette per cause di accensione difettosa.

Onde è tradizionale consuetudine di tutti i motori di aviazione, ricercare a priori in un cattivo funzionamento delle candele l'origine delle più misteriose irregolarità dei loro motori. Talchè, nel maggior numero dei casi, ad una sommaria diagnosi segue l'immane terapia a carattere sperimentale: la sostituzione delle candele.

E' d'uopo riconoscere che assai spesso questo rimedio radicale apporta i benefici sperati; tanto da dover considerare la sostituzione delle candele una panacea quasi universale. Tuttavia accade sovente che vengano scambiate le cause con gli effetti, col risultato di attribuire alle candele stesse quegli inconvenienti dei quali esse recano bensì le tracce, ma che in realtà sono dovuti ad altre cause.

Il funzionamento delle candele è in relazione molto stretta con quello del motore. Il numero di giri, il rapporto di compressione, la natura del carburante, l'umidità e la pressione atmosferica costituiscono altrettanti fattori che volta per volta devono venire accuratamente vagliati nel giudicare il comportamento di una candela.

Disturbi continui d'accensione possono derivare da una scelta errata del tipo di candela, o da un inadatto rapporto di miscela conseguente ad una falsa registrazione del carburatore, oppure da un passaggio troppo abbondante di lubrificante nella camera di combustione, pro-

vocato da insufficiente tenuta degli anelli dello stantuffo, ecc.

Anche una valvola che non faccia buona tenuta può contribuire all'imbrattamento della candela per la diminuzione di pressione e temperatura che essa produce.

Una valvola di scarico difettosa può avere quale conseguenza la mescolanza della miscela fresca con i gas di scarico, dando luogo ad un rilevante e rapido formarsi di depositi carboniosi.

In tutti questi casi il mancato funzionamento della candela è dovuto a fattori indipendenti dalla candela stessa.

* * *

Genericamente parlando, il requisito fondamentale al quale deve soddisfare la candela è quello di fornire una successione regolare di scintille in rigorosa corrispondenza con una determinata posizione dello stantuffo nel cilindro. Inoltre, i criteri che debbono guidare nella scelta e nella valutazione di una candela sono:

- 1) proprietà termiche della candela;
- 2) resistenza dell'isolante alle sollecitazioni termiche, meccaniche, elettriche;
- 3) resistenza degli elettrodi alla erosione;
- 4) tenuta della candela agli effetti della pressione.

Tali requisiti, facili ad essere soddisfatti, qualora la candela funzionasse in una atmosfera di aria calma, asciutta, a temperatura e pressione ordinaria, sono invece gravosi, per le effettive condizioni di esercizio.

Infatti, con gli elevati rapporti di compressione e di suralimentazione oggi in uso la temperatura massima durante il ciclo di lavoro spesso supera ampiamente i 2000° e la pressione massima raggiunge i 50 kg/cm².

Ciascuna delle fasi di aspirazione, compressione, espansione e scarico, in un motore a 4 tempi funzionante a 2500 giri/min dura 0,012 sec; pertanto, in intervalli di tempo dell'ordine di 0,012 sec la pressione passa da circa 1 kg/cm² (alla fine della corsa di aspirazione) a circa 50 kg/cm² (dopo la esplosione) e, contemporaneamente, la temperatura varia da circa 100° ad oltre 2000°.



Inoltre, al regime di 2500 giri/min, si hanno 1250 accensioni al minuto, cioè una scintilla ogni 0,048 sec.

La temperatura della candela nella sua porzione immersa nella camera di scoppio assume un valore medio dell'ordine di 400° - 500° . Se la temperatura è inferiore a tale valore, si formano facilmente depositi carboniosi che costituiscono un circuito in derivazione rispetto agli elettrodi e talvolta provocano scariche lungo l'isolante. Tale deposito normalmente appare di colorazione rossobruna; talvolta però, nel caso di infiltrazione di olio dovuto ad imperfetta tenuta degli anelli dello stantuffo, tali depositi appaiono umettati d'olio.

Se la temperatura media delle candele è abbastanza alta, le particelle carboniose si abbruciano e la candela rimane pulita. Viceversa, se la temperatura è troppo elevata si possono avere preaccensioni (1).

Ne consegue che la candela deve possedere un appropriato « grado termico », vale a dire essa deve essere abbastanza calda per bruciare i depositi di olio anche durante i bassi regimi dei motori (ad es. durante il volo librato) e sufficientemente fredda da evitare preaccensioni nei regimi elevati. Pertanto, dato che l'assorbimento di calore da parte della candela dipende essenzialmente dal tipo e dal regime del motore, si comprende come differenti motori richiedano candele di tipi differenti, e come lo stesso motore possa richiedere pure differenti candele a seconda della sua installazione su velivoli più o meno veloci, o più genericamente, a seconda delle caratteristiche di refrigerazione peculiari in ciascun tipo di installazione.

Questo vale specialmente per i motori refrigerati ad aria, nei quali le condizioni termiche variano da un livello all'altro, per non dire da un cilindro all'altro.

Malauguratamente, se la tecnica motoristica oggi è riuscita ad acquisire un bagaglio di cognizioni sperimentali che guidano (spesso ancora assai empiricamente) nella scelta delle candele, bisogna riconoscere che la tecnica costruttiva delle candele non ha seguito di pari passo lo sviluppo del motore d'aviazione in questi ultimi anni, sviluppo che peraltro è sopra tutto dovuto e legato all'impiego delle speciali benzine antidetonanti.

L'uso di tali carburanti infatti conduce essenzialmente ad una alterazione e consumo degli elettrodi, nonché ad una caduta di isolamento delle candele.

Ne scaturisce l'interesse presentato dalle indagini sperimentali volte ad attenuare questi gravi inconvenienti onde rendere più sicuro il funzionamento e maggiore la durata delle candele stesse.

La bruciatura degli elettrodi delle candele.

La bruciatura degli elettrodi delle candele, inconvenienti che costituisce un ostacolo non indifferente al perfezionamento dei motori alimentati da carburanti ad

alto numero di ottano, ha assunto una entità preoccupante soltanto in questi ultimi anni, vale a dire quando la tendenza alle alte potenze specifiche ha condotto alla pratica degli alti rapporti di compressione e della suralimentazione con il conseguente imprescindibile impiego di benzine rese antidetonanti mediante l'aggiunta di piccole quantità di piombo tetraetile $[Pb(C_2H_5)_4]$.

Gli effetti notoriamente deleteri del piombo che si libera nella combustione dei carburanti etilizzati si sono voluti attenuare mediante l'aggiunta di bromuro di etile $[(C_2H_5)_2Br_2]$ che ha la proprietà di trasformare gli ossidi di piombo in bromuro di piombo, volatile alle alte temperature e quindi espellibile con i gas di scarico.

In realtà, gas nocivi composti essenzialmente nella misura di \sim il 70 % da ossido di piombo e per il rimanente da solfato e bromuro di piombo sono sempre presenti nella camera di scoppio durante la fase di espansione, e formano depositi sugli elettrodi delle candele in misura tanto maggiore quanto maggiore è la temperatura di questi, col risultato di provocare una progressiva corrosione.

La corrosione degli elettrodi delle candele (dovuta anche, oltre che alle cause sopraccennate, a disgregazione di natura termoelettrica) provoca genericamente tre inconvenienti:

- 1) la necessità del frequente smontaggio delle candele per controllarne e registrarne gli elettrodi;
- 2) la necessità di una frequente sostituzione delle candele.
- 3) l'incremento della distanza degli elettrodi, con conseguente aumento della tensione della scintilla e quindi un aggravamento della sollecitazione elettrica della candela.

Altra conseguenza è la riduzione del fattore di sicurezza dell'intero impianto di accensione alle grandi quote nelle quali, col diminuire della pressione atmosferica, aumenta l'entità delle perdite elettriche.

Il fenomeno della corrosione degli elettrodi è stato pertanto oggetto di indagini sistematiche ed esaurienti, delle quali si darà cenno in questa sede, insieme con i provvedimenti che sono stati suggeriti allo scopo di attenuare l'inconveniente.

Le esperienze si sono orientate alla ricerca dell'influenza della natura del materiale degli elettrodi, delle loro caratteristiche geometriche, della distanza esplosiva iniziale, delle caratteristiche di capacità e resistenza dei cavi conduttori, del tipo di generatore di corrente (magnete o bobina).

(1) Nella letteratura specifica si suole denominare « autoaccensione » il fenomeno della accensione prematura; preferiamo usare il vocabolo « preaccensione » che ci pare più proprio, ed indicare con « autoaccensione » l'accensione spontanea del combustibile per compressione, come nel ciclo Diesel.

a) *Influenza della natura del materiale degli elettrodi.*

Si è tentato di attenuare il fenomeno della bruciatura ricorrendo all'impiego di materiali più resistenti all'azione corrosiva. A tale scopo si sono provati elettrodi di leghe di acciai austenitici al cromo nichelio, ed al nichelio silicio; il nichelio puro; la stellite; il tungsteno; il platino iridio.

Prove comparative effettuate (1) su di un motore con benzina a numero di ottano 87 hanno permesso di stabilire il comportamento dei diversi materiali nel modo che segue.

Il tungsteno è risultato il meno suscettibile di bruciature; esso è tuttavia inadatto per la difficoltà che presenta la sua lavorazione e per la fragilità che rende praticamente impossibile una regolazione della distanza fra gli elettrodi.

Il nichelio puro, a parità di condizione, presenta una bruciatura di circa il 20 % superiore a quella del tungsteno.

Seguono nell'ordine varie leghe di nichelio, alcune delle quali presentano una bruciatura doppia di quella del Ni puro.

Anche le leghe nichelio-rodio hanno dato risultati peggiori del nichelio puro.

Nel gruppo dei metalli nobili, il platino presenta, sempre a parità di condizioni, una bruciatura pari ad un quarto di quella presentata dal nichelio puro; esso si è però dimostrato di durezza insufficiente.

L'iridio, che invece è molto più duro, ha presentato una bruciatura pari ad un quinto di quella del nichelio.

Il molibdeno presenta una bruciatura pari a circa metà di quella del nichelio, ma è suscettibile di sensibile corrosione per effetto dei composti di piombo liberati dalla combustione delle benzine etilizzate.

I risultati migliori si sono ottenuti con una lega di platino-iridio al 20 % di iridio.

La fig. 1 illustra l'aspetto presentato da un elettrodo in lega platino-iridio dopo il funzionamento. Le appendici sferoidali all'estremità dell'elettrodo sono prodotte presumibilmente da un processo di fusione provocato dalla scintilla.

b) *Influenza della distanza esplosiva iniziale.*

Per misurare l'influenza di tale fattore, su 12 candele Lodge A-2-2 si eliminarono due dei tre elettrodi onde intensificare la bruciatura sull'elettrodo superstite e facilitare conseguentemente la lettura delle variazioni di lunghezza. Preparate in tal modo tre serie di quattro candele cadauna, aventi rispettivamente distanze esplosive di 0,30, 0,46, 0,61 mm, queste furono sperimentate su di un motore Kestrel X alimentato con benzina etilizzata, in funzionamento a 9/10 P. N. a 2350 giri/min. (L'apparecchio di accensione era del tipo B.T.H.S.C. 12 collegato con le candele mediante cavi schermati della lunghezza di m 1,80).

La bruciatura degli elettrodi dopo 10 e dopo 20 ore di esercizio, figura nel prospetto che segue:

Distanza esplos. iniz.	dopo 10 ore	dopo 20 ore
0,30 mm	0,18	0,34
0,46 mm	0,19	0,29
0,61 mm	0,12	0,22

Non se ne può pertanto dedurre una legge di dipendenza tra entità della distanza esplosiva ed entità della bruciatura, la quale anzi appare diminuita per una distanza iniziale di 0,61 mm.

c) *Influenza della natura della scarica elettrica e della capacità dei conduttori.*

La erosione degli elettrodi delle candele si suole attribuire al fatto che l'energia della scintilla agisce su di una superficie piccolissima del metallo fondendo e vaporizzando il metallo stesso nella zona interessata. Se la scarica si effettuasse attraverso le puntine con una corrente costante l'erosione sarebbe presumibilmente minore, in quanto verrebbe ridotta l'intensità massima di scarica; ma la prima parte della scarica, che normalmente si identifica con la scintilla stessa, non si comporta in questo modo.

(1) Vedi bibliografia n. 1.

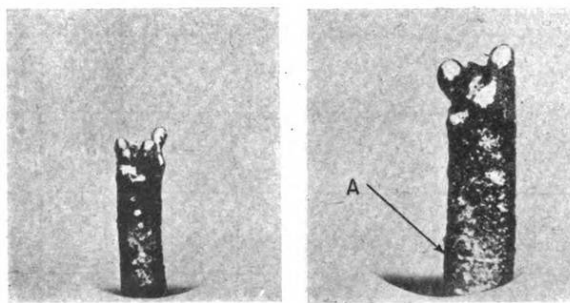


Fig. 1 - Formazioni globulari e fessure trasversali (A) su elettrodi di platino iridio.

L'analisi della natura della scintilla agevola l'interpretazione dei fenomeni che l'accompagnano.

Il gas fra le puntine è normalmente un buon dielettrico, sino a che non viene applicata ad esso una tensione elevata. Allora, ad un certo punto esso muta quasi istantaneamente il suo carattere, si ionizza e permette il passaggio della scarica. Il passaggio della corrente incrementa intensamente la ionizzazione e lo spazio tra le puntine diventa un buon conduttore con una resistenza dell'ordine di $10 \div 100$ ohm. Poichè la tensione applicata è dell'ordine di alcune migliaia di Volta, si ha un intenso flusso di corrente e la potenza della scarica può essere dell'ordine di 100 kW. Essa dura soltanto pochi milionesimi di secondo (non resisterebbe alcun tipo di elettrodo se durasse più a lungo) ed è seguita dalla « coda » della scintilla.

La potenza della scarica è, in questa seconda fase, di soli pochi watt. La ragione della intensità di scarica della prima fase risiede nel fatto che durante essa la corrente non passa attraverso l'avvolgimento del magnete, ma è immagazzinata, prima della ionizzazione, nella capacità in parallelo con la candela ed è limitata soltanto dalla resistenza nello spazio fra le puntine e dalla resistenza del cavo, che è assai bassa.

Sia la scintilla che la coda sono scariche ad arco della stessa natura, ma di intensità e durata molto differenti, dipendenti dalla resistenza effettiva del circuito.

Nelle condizioni normali, usando cavi ordinari non schermati, la capacità in parallelo con la candela è molto piccola ed una energia relativamente bassa fluisce nella prima ondata di corrente.

La maggior parte delle bruciatore delle puntine può essere in questo caso attribuita alla coda della scarica e poichè questa è una scarica a bassa intensità, la erosione è lenta.

La schermatura dei cavi, imposta dalle esigenze di funzionamento dell'impianto radio, aumenta di parecchie volte la capacità del cavo ad alta tensione, provocando un aumento corrispondente dell'energia della scintilla. La schermatura crea infatti una capacità addizionale dell'ordine di $100 \div 200$ μ F. Gli effetti sono facilmente visibili, confrontando una scintilla attraverso ad un cavo semplice e poscia attraverso lo stesso cavo schermato.

Nel primo caso si vede una piccola scintilla azzurra con un alone giallastro, mentre la scintilla attraverso ad un cavo schermato è brillante e rumorosa. Un attento esame della scintilla brillante rivela che dalle puntine vengono proiettate delle particelle di metallo incandescente.

Le prove dimostrano che la velocità di bruciatura delle puntine aumenta due o tre volte, dipendentemente dalla lunghezza del cavo, quando si impiega un cavo schermato.

Nel caso di prove su di un motore Kestrel X si è constatato che la bruciatura aumentava di 2,6 volte quando si sostituivano cavi non schermati con cavi schermati della lunghezza di m. 2,75, e che la bruciatura è sensibilmente proporzionale alla lunghezza dei cavi.

Generalmente parlando, si può diminuire la bruciatura degli elettrodi in due modi:

- 1) adottando un apparecchio di accensione che produca una scarica con una « coda » più corta,
- 2) inserendo nel circuito uno smorzatore, in modo da ridurre l'effetto distruttivo della corrente nella scarica.

In quanto al primo metodo, partendo dal criterio che i magneti attuali generano una scintilla di energia troppo elevata (1) si è proposto di ridurre la bruciatura degli elettrodi diminuendo questa energia. Viceversa si è constatato che non esiste una relazione diretta tra queste due grandezze.

La seguente tabella indica i risultati di alcune prove eseguite in condizioni di laboratorio, con tre tipi di magneti di cui due sono stati appositamente indeboliti per diminuire l'energia della scintilla.

Si vede come, variando l'energia della scintilla da 0,012 a 0,041 Joule, nel caso dei cavi non schermati non

(1) Secondo i risultati di prove condotte da Paterson e Campbell relative all'energia minima di accensione per una miscela carburante a diverse tensioni, quando la tensione eccede 4500 V, l'energia è dell'ordine di 0,07 Joule per scintilla nel caso di una miscela povera e 0,004 Joule nel caso di miscela ricca. Al crescere della tensione, l'energia necessaria diminuisce molto rapidamente. Questi valori sono molto piccoli in confronto all'energia della scintilla fornita dai normali magneti, che è circa 0,02 - 0,06 Joule.

TIPO DI MAGNETE	B. T. H. S. C. 9	Rotox S. P. 12	Scintilla	B. T. H. S. C. 9 Indebolito	Rotox S. P. 12 Indebolito
Energia della scintilla in Joule (a 2000 giri/min.)	0,041	0,041	0,029	0,022	0,012
Incremento della distanza esplosiva in mm., con cavi non schermati	0,14	0,13	0,11	0,11	0,12
Incremento della distanza esplosiva in mm. con cavi schermati della lunghezza di m. 1,80.	0,33	0,38	0,36	0,38	0,54

si verifica un sensibile incremento della distanza esplosiva, mentre invece con cavi schermati la bruciatura con il magnete indebolito è molto maggiore. Non pare quindi vi sia rapporto diretto tra bruciatura ed energia della scintilla.

d) *Influenza delle resistenze in serie.*

E' noto che una resistenza, inserita fra la candela ed il cavo, conserva più a lungo le puntine. I « soppressori » impiegati su veicoli muniti di apparecchio radio compiono questa funzione insieme con quella di sopprimere le oscillazioni che perturbano le radioricezioni. Le resistenze dei soppressori sono dell'ordine di $10 \div 20.000$ ohm; valore necessario per sopprimere le oscillazioni.

Nei motori d'aviazione, viceversa, la stessa pratica tentata allo scopo di eliminare l'incremento di erosione prodotto dalla capacità addizionale del cavo schermato, non si è dimostrata conveniente, poichè causa i depositi di piombo del combustibile sugli isolatori delle candele, non è consigliabile ridurre l'energia della scintilla sotto a quella necessaria per compensare la dispersione elettrica prodotta dal deposito. Un minimo di energia della scintilla è pure necessario per bruciare il deposito sulle puntine, poichè diversamente lo spazio fra esse lentamente si chiude. Inoltre non è facile trovare una resistenza di dimensioni ragionevoli atta a sopportare la tensione elevata attraverso essa.

Il Ramsay, dopo esaurienti indagini sulla natura della scintilla, tentò allora l'effetto della riduzione della intensità della scarica di capacità, senza influire sulla energia totale della scintilla o tentare di sopprimere l'oscillazione.

A giudicare dalla resistenza media dello spazio ionizzato fra le puntine, la resistenza supplementare necessaria per produrre una riduzione considerevole della intensità di scarica, sarebbe molto minore di 10.000 ohm; infatti Ramsay trovò che una resistenza di 1000 ohm annullava completamente l'effetto della schermatura e riduceva l'erosione delle puntine allo stesso grado dei cavi semplici.

Essendo la tensione attraverso alla resistenza molto minore di quella col tipo a soppressore, risulta facile incorporare detta resistenza nei terminali a gomito del cavo schermato, come è stato fatto dalla K. L. G. Sparking Plugs Ltd.

E' risultato che il problema della riduzione della bruciatura degli elettrodi si può risolvere in modo soddisfacente dando alla scintilla lo smorzamento più grande possibile.

La fig. 2 illustra l'effetto della inserzione di resistenze di varia entità sulla entità della bruciatura. Dai risultati sperimentali sintetizzati nelle curve è lecito dedurre che:

1) la bruciatura diminuisce di circa il 70 % inserendo una resistenza da $1000 \div 2000$ ohm all'estremità lato candela;

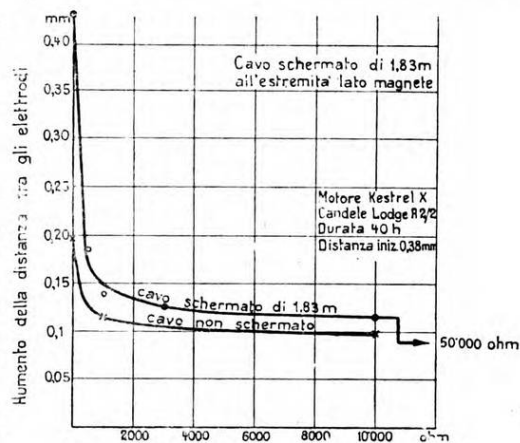


Fig. 2 - Influenza dell'inserzione di una resistenza in serie con la candela sulla erosione degli elettrodi.

2) l'inserzione di ulteriori resistenze fino a 50.000 ohm non dà alcun ulteriore miglioramento;

3) con resistenze oltre 2000 ohm la bruciatura con cavo schermato è di poco maggiore di quella con cavo non schermato.

Un sistema di applicazione della resistenza alla schermatura delle candele studiato dalla Ditta K. L. G. è illustrato nella fig. 3, in cui la resistenza è tenuta in posizione da una molla fra l'armatura dell'estremità del cavo e l'elettrodo centrale. In tal modo si aumenta circa del triplo l'utilizzazione delle candele attuali normali, e si possono far funzionare tali candele da 80 a 100 ore senza registrare la distanza fra gli elettrodi.

e) *Influenza del tipo di generatore.*

Su di un motore Kestrel alimentato con benzina etilizzata sono state eseguite prove comparative di bruciatura di elettrodi usando il sistema di accensione a magnete e a bobina.

Si impiegarono candele Lodge A 2-2, private di due dei tre elettrodi, allo scopo di facilitare le misure di consumo dell'elettrodo superstite. Si eseguirono prove con una bobina alimentata da generatore di corrente e, suc-

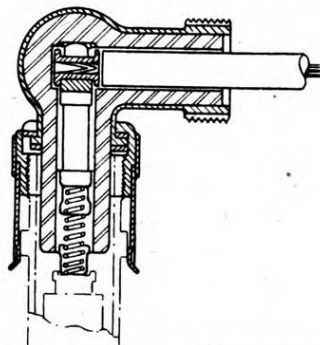


Fig. 3 - Candela K. L. G. Elemento di resistenza entro raccordo schermato.

cessivamente, da batteria; con ciascun tipo di alimentazione si sperimentarono cavi con e senza schermatura. Con i cavi schermati si fecero inoltre prove con resistenza di 1000 ohm.

Ogni 10 ore si permutava la posizione delle candele onde alla fine della prova ciascuna di esse avesse funzionato complessivamente lo stesso numero di ore nelle varie posizioni (lato ammissione, lato scarico, linea di cilindri sinistra, linea di cilindri destra).

La tabella seguente indica i risultati ottenuti.

CONSUMI ELETTRODI (distanza iniziale 0,3 mm.)

	Magne		Bobina con generatore		Bobina con batteria	
	dopo 20 ore	dopo 40 ore	dopo 20 ore	dopo 40 ore	dopo 20 ore	dopo 40 ore
Cavo non schermato da metri 1,80	0,18	0,32	0,16	0,32	0,22	0,39
Cavo schermato da m. 1,80	0,34	0,57	0,24	0,44	0,25	0,44
Cavo schermato da m. 1,80 e resistenza da 1000 ohm	0,09	0,18	0,11	0,22	0,10	0,20

Come si vede le differenze di bruciatura ottenute con i diversi sistemi non sono sostanziali.

f) Influenza della forma degli elettrodi.

L'entità della bruciatura degli elettrodi dipende anche dalla forma di essi. Giocando su tale fattore, si sono sperimentati vari disegni di elettrodi, tendenti ad accrescere la superficie di scintillamento. Col tempo si è aumentata sempre più la dimensione dell'elettrodo centrale e sono stati portati da 1 a 8 gli elettrodi di massa nelle varie forme a fili ed a lamelle.

Inoltre, limitatamente alle tolleranze consentite nella variazione del grado termico, si è provveduto al raffreddamento delle candele mediante camicie e perni di rame esterni ed interni all'astina dell'elettrodo centrale.

La tavola I indica i risultati di prove in volo (1) ottenuti nel corso di più anni, con differenti forme di elettrodi e diversi materiali.

Seguendoli dall'alto in basso ci si forma un'impressione approssimativa del progresso compiuto durante gli ultimi 3 o 4 anni.

I migliori di essi, ad esempio 12, 15, 16, 17 non sono ancora stati provati in combinazione con resistenze; si deve però supporre che in tal modo si potranno aumentare i tempi fra le singole registrazioni degli elettrodi a circa 200 ore.

LA CADUTA DI ISOLAMENTO DELLE CANDELE.

Come si è accennato nella introduzione a questi appunti, i depositi di piombo che si formano sul nucleo isolante interno alla candela in sede di esercizio con benzine etilizzate, provocano gravi inconvenienti originatisi dalla caduta di isolamento.

La formazione di depositi di piombo sull'isolante della candela, porta al deterioramento di questo con

N.	Disposizione elettrodi	Materiale elettrodi		Motore	Erosione media mm/h	Note
		centrale	di massa			
1		acciaio	nicel	Jupiter VIII F	0,0177	
2		acciaio al Ni	nicel	Merlin I	0,0127	
3		acciaio al Ni	nicel	Kestrel X	0,0127	prove al banco
4		acciaio al Ni	nicel	Kestrel Y	0,0102	
5		acciaio al Ni	filo di plat.ind	Cyclone	0,0084	
6		acciaio al Ni	acciaio al Ni	Kestrel X	0,0089	prove al banco
7		nicel mangan	nicel	Cyclone	0,0084	
8		nicel	nicel	Kestrel Y	0,0081	
		nicel	nicel	Kestrel X	0,0058	
9		acciaio al Ni	filo di plat.ind	Mercury IX	0,0071	
10		acciaio al Ni	nicel	Pegasus III	0,0056	
11		acciaio al Ni	nicel	Merlin II	0,0051	
		acciaio al Ni	nicel	Pegasus II	0,0046	
12		platino	platino	Napier VI	0,0038 0,0051	
13		platino	platino	Merlin II	0,0038	
14		acciaio al Ni	acciaio	Cheelah IX	0,0038	non conveniente per motori spinti moderni
15		acciaio al Ni	filo di plat.ind.	Merlin II	0,0038	
16		platino iridiato	filo di plat.ind.	Merlin II	0,0038	
17		nicel	nicel	Pegasus XX	0,0025	prove al banco

(1) Ved. Bibliografia II, I.

TAVOLA I.

perdita di tensione se la temperatura di questi depositi è sufficiente per provocare la loro fusione. I depositi fusi hanno anche tendenza a dare preaccensione a temperature elevate.

Il deposito che si forma sull'isolante non è verosimilmente dannoso che in caso di fusione, ma se la temperatura non supera 650° esso è relativamente innocuo.

Nei motori d'aviazione si evita assai difficilmente la formazione di questi depositi fusi, pure ricorrendo all'uso di candele « fredde ».

Il colore del deposito cambia con la temperatura, passando da una tinta grigiastra o giallastra alle basse temperature, ad una tinta bruna o rossa alle alte temperature; fuso, esso è pressochè nero.

La natura dei depositi varia con la ricchezza della miscela e la carica, ma in generale i principali costituenti sono: solfato di piombo, ossido di piombo e bromuro di piombo.

I depositi sono apparentemente igroscopici o per lo meno essi trattengono l'umidità senza necessariamente assorbirla, ciò per il fatto che essi danno luogo ad una superficie relativamente rugosa e porosa in confronto della superficie isolante. Può accadere che questa umidità sia sufficiente per provocare avviamenti difficili ed una marcia difettosa che persiste fino a che il motore è completamente riscaldato.

Problema fondamentale nella costruzione delle candele per motori d'aviazione è quindi la scelta di un materiale isolante che presenti un buon comportamento malgrado la severa esigenza dell'esercizio conseguente all'uso del piombo tetraetile nelle benzine.

Genericamente parlando i materiali sperimentati come isolanti nelle candele sono: la steatite, lo zirconio, la sillimanite, il quarzo, le ceramiche, la mica, l'ossido di alluminio sintetico.

La steatite, materiale economico e di facile lavorazione, presenta conduttività elettrica abbastanza bassa anche a temperature elevate, ma il suo impiego, possibile nel campo dei motori dell'autotrazione, non è estensibile a quello dei motori d'aviazione dove le sollecitazioni termiche e meccaniche sono assai più severe.

Lo zirconio viene proscritto per la sua fragilità, mentre la sillimanite non offre sufficienti garanzie di fronte al cimento termico dei motori aeronautici.

Si è cercato pure di impiegare il vetro di quarzo, date le sue buone proprietà termiche; esso presenta però l'inconveniente di una insufficiente resistenza meccanica alle elevate temperature oltre che un costo troppo elevato.

L'isolante di ceramica, sul quale si va oggi accennando l'attenzione dei tecnici che vedono in essi un materiale da sostituzione della mica, la quale non è autarchica, è generalmente a base di silicati; esso viene prodotto mescolando in dati rapporti e macinando finemente argilla, caolino, steatite, felspato, sillimanite, zirconio, ecc. e cuocendo poscia al forno la massa pla-

stica ottenuta impastando con acqua od olio le predette polveri.

Sfortunatamente il coefficiente di isolamento dell'isolatore di ceramica decresce molto rapidamente col l'aumentare della temperatura come appare dalla figura 4 (1). Le brusche variazioni di temperatura alle quali sono soggette le candele durante il funzionamento producono nell'isolante forti tensioni termiche che si manifestano soprattutto come tensioni di trazione sulla superficie dell'isolante, la cui resistenza mec-

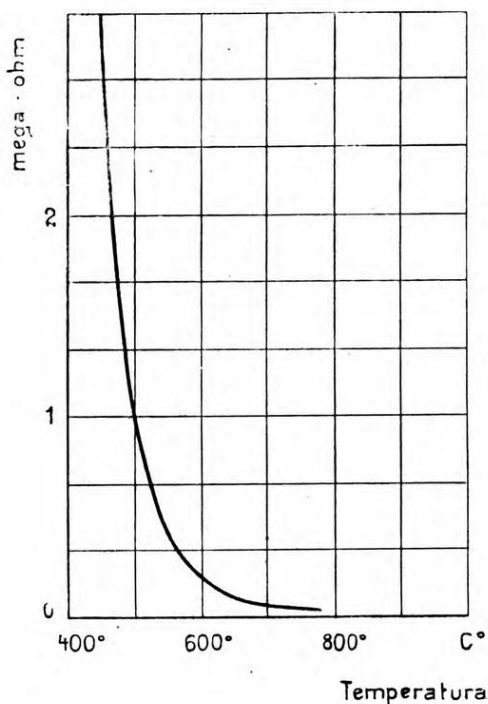


Fig. 4 - Variazioni del coefficiente di isolamento di un isolatore di ceramica col crescere della temperatura.

canica acquista perciò ovvia evidenza. Se si pensa quindi che una sottile screpolatura dell'isolante di ceramica compromette gravemente la sua resistenza, e che durante la cottura al forno, per imperfetta omogeneità della pasta e per imponderabili ragioni termiche possano crearsi lievi discontinuità della materia, si comprende come questo rischio, aggiunto a quello della caduta della resistività elettrica con la temperatura, rende irto di difficoltà il problema della fabbricazione e del pratico impiego delle candele in ceramica.

Nei motori d'aviazione, nei quali la sicurezza di funzionamento delle candele è requisito fondamentale, si ricorre alla mica per la fabbricazione degli iso-

(1) Vedi Bibliografia n. 3.

lanti. L'isolante di mica è di funzionamento più sicuro che non quello di ceramica, grazie al suo miglior comportamento di fronte agli agenti termici e meccanici; inoltre il suo potere isolante è buono a tutte le temperature. Neppure il suo impiego però è privo d'inconvenienti. Nell'esercizio dei motori alimentati con benzine utilizzate infatti si formano spesso sulle superfici della mica depositi di piombo.

A questi depositi è attribuita in alcuni casi la causa dell'accensione prematura; essi però, secondo Bairsto, non sono particolarmente dannosi, finché la temperatura superficiale non raggiunge i 600°C; allora essi si distribuiscono sulla mica dell'isolante producendo una superficie a bollicine con conduttività relativamente elevata.

Allo scopo di controllare il fenomeno della caduta di isolamento negli isolanti di mica, furono eseguite durante sei mesi, delle misure in volo su un gran numero di candele e con motori raffreddati ad aria e ad acqua, alimentati con carburanti D. T. D. tipo 224, oppure al tetraetile di piombo con D. T. D. 230 (numero di ottano 87). La resistenza di isolamento si misurò con uno speciale strumento. Si eseguirono complessivamente 624 prove delle quali la tabella 2 riassume i risultati:

	Percentuale delle candele con una resistenza minore di:			
	5 Megaohm	1,0 Megaohm	0,5 Megaohm	0,2 Megaohm
Carburante D. T. D. 224				
Motore raffreddato aria	10,3	5,2	4,2	3,3
Motore raffreddato acqua	11,7	3,1	1,6	1,6
Carburante D. T. D. 230 (al piombo)				
Motore raffreddato aria	23,6	15,6	12,6	5,0
Motore raffreddato acqua	21,4	20,2	17,9	13,1

E' evidente la maggior caduta di isolamento riscontrata nell'esercizio con carburante al piombo.

Un altro effetto deleterio dei depositi di piombo, è la distruzione parziale della mica, per formazione di piccoli fori simili a fori di spillo. La fig. 5 illustra l'aspetto della superficie della mica in alcuni casi tipici. La prima delle candele illustrate presenta un foro caratteristico, le altre due sono in uno stato di distruzione più avanzato. Queste candele difettose erano caratterizzate dai seguenti fenomeni:

1) fra l'involucro di mica ed i dischi di mica circostanti vi erano caverne o spazi d'aria. Queste cavità corrispondevano ai fori di perforazione,

2) depositi conduttori, specialmente composti di piombo, provenienti dall'uso di carburante al piombo, nell'interno di isolamenti di mica,

3) accumulazione di depositi carboniosi o di piombo nel corpo delle candele, in modo da restringere lo spazio libero fra l'isolamento di mica ed il corpo della candela,

4) ampie distanze fra gli elettrodi, perciò elevate tensioni di scintilla e in conseguenza aumentata sollecitazione elettrica dell'isolamento aria-mica fra corpo della candela ed elettrodo centrale.

La crescente diminuzione della resistenza alla perforazione fra il corpo della candela e l'elettrodo centrale, in direzione radiale, per la presenza di depositi di piombo nel corpo della candela, in combinazione con le elevate tensioni della scintilla, provocava infine una formazione di scintilla fra il corpo della candela ed il pezzo centrale di mica, anziché che fra gli elettrodi veri e propri. E' questo il motivo della perforazione dell'isolante. Quando questo fenomeno incomincia a manifestarsi, la distruzione procede molto rapidamente. La candela presenta gravi difetti di tenuta; vicino al foro di spillo si manifesta un surriscaldamento locale, e la perforazione propriamente detta è presto seguita da una fusione locale della mica, come si vede nelle due ultime candele della fig. 5.



Fig. 5 - Perforazioni di isolanti di mica.

Candele con isolante di ossido di alluminio sintetico.

Nell'anno 1936 in Germania la Siemens studiò un nuovo materiale isolante, che ha eliminato quasi tutti gli inconvenienti delle candele di mica. Si tratta di ossido di alluminio, agglutinato in una massa molto dura ed impermeabile, che si fabbrica ora in Inghilterra sotto i nomi di Sinterkorund, Sintox e Zire mud.

In Germania il prodotto più noto è quello fabbricato dalla Casa Bosch, il quale va sotto il nome di «Pyramit 2».

L'ossido di alluminio sintetico è corindone (Al_2O_3) preparato artificialmente; esso può essere ottenuto fondendo al forno elettrico una miscela di bauxite e coke, oppure come sottoprodotto dell'alluminio-termia. Esso possiede una resistenza meccanica doppia rispetto alla migliore porcellana, ed una conduttività termica quintupla; non è attaccato dal piombo del carburante etilizzato. La sua dilatazione termica è più vicina a quella del nichel che a quella delle masse ceramiche, per cui la tenuta dell'elettrodo centrale nell'isolatore è più facile, essendovi fra i due una minor differenza di dilatazione termica. La pulizia dell'isolante di tali candele è molto facile, poichè neppure getti di sabbia guastano la superficie dell'isolatore.

Negli ultimi due anni sono state studiate molte candele con questo tipo di isolante e precisamente per motori di prova con carburanti aventi numeri di ottano 87 e 100. Col carburante a numero di ottano 87 si raggiunsero dei periodi di funzionamento approssimativamente di 100 ore, senza alcuna alterazione delle candele.

La fig. 6 illustra alcune costruzioni tipiche con risultati molto promettenti.

Le difficoltà ancora da superare, e che devono essere attribuite all'uso di ossido di alluminio, consistono specialmente nell'esecuzione del collegamento fra

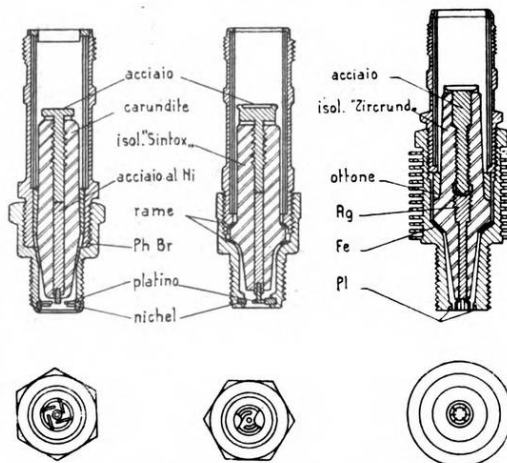


Fig. 6 - Candela con isolante a base di ossidi di alluminio.

l'isolatore ed il corpo il quale deve essere a tenuta di gas, e sufficientemente robusto.

Si ebbero delle rotture per la sollecitazione dovuta a variazioni di temperatura nei punti in cui si hanno forti variazioni di sezione nell'isolatore.

I dischi rame-amianto non sono convenienti, ed i dischi massicci di rame producevano allo stato compresso una deformazione della sede per la forte pressione necessaria per il collegamento a tenuta di gas. Si ebbero migliori risultati con dischi elastici, ma questi richiedono ancora lavoro di messa a punto. Si ebbero inconvenienti anche per l'attacco del piombo sui dischi di rame, e la perdita di tenuta di gas così provocata.

Si ebbero infine difetti d'accensione dovuti alla diminuita resistenza dell'isolamento per i depositi carboniosi, poichè la temperatura di esercizio dell'isolatore della candela era troppo bassa per eliminare mediante bruciatura i depositi.

BIBLIOGRAFIA

- 1) BAIRSTO G. E. — Some factors controlling the development of electrical ignition of aero engines. - The Journal of the Royal Aeronautical Society, Febbr. 1940.
- 2) RAMSAY - Sparking plugs in aero engines. - Flight 2 giugno 1938.
- 3) MARCHISIO — L'elettricità nell'automobilismo e nell'aviazione.
- 4) DE LUCA — Inconvenienti dei depositi di piombo sulle candele per motori d'aviazione. - Vol. VI Convegno Naz. di Aeronautica.
- 5) DE LUCA — Candele per motori d'aviazione - «Auto Moto Avio», n. 15-16, 1939.
- 6) MAFFONI — Le miscele antidetonanti ed il comportamento delle candele. - «Sprazzi e Bagliori», n. 1, A-XIII.
- 7) *** — Accensione sotto pressione - Interavia, n. 737, 27 novembre 1940.
- 8) N.A.C.A. — Properties and preparation of Ceramic Insulators for Spark Plugs. - Report n. 53.
- 9) MELVILLE-BLACKBURN-HANNEN — Caratteri elettrici della scarica a scintilla nei sistemi d'accensione. - Journal of

Research of the National Bureau of Standards. Vol. 19 n. 4 ott. 1937.

10) TAYLOR-KENNEDY — Controllo dell'accensione nei motori d'aviazione sovralimentati. - Journal of the Aeronautical Sciences. Luglio 1936.

11) BEALL-TOWSEND — Hi-duty spark-plug testing. - S.A.E. Journal, Nov. 1938.

12) GRAY — Schermature radio nei trasporti aerei. - S.A.E. Journal, 1937.

13) TAYLOR — Induction Coil Theory and applications. - Cap. III Spark ignition.

14) CAMPBELL-PATERSON — The characteristics of the spark discharge and its effect in igniting explosive mixtures. - N.A.C.A. Report Res. n. 23.

15) BAIRSTO G. E. — The effect of shunted resistance on plug leakage on the sparking performance of an electrical ignition system. - Journal I.E.E., 1920 pag. 507.

16) DEBENHAM-HAYDON — On the erosion of sparking plug electrode materials and the variation of sparking plug voltage. - Aeronautical Research Comm. Repor. Rt and. M. N. 1744.