

Sul comportamento di pistoni difettati per motori ad a.c. alimentati con miscela benzina etanolo

De Iorio A.[†], Gambino M.[‡], Penta F.[†]

[†]DPGI, Università di Napoli Federico II – [‡]Istituto Motori, CNR

SOMMARIO

Si analizza il comportamento a fatica di pistoni per motori ad accensione comandata, alimentati con miscela alcool-benzina, mediante prove full-scale al banco e con una macchina universale adeguatamente attrezzata per simulare il carico di esercizio sull'articolo di prova.

I primi risultati ottenuti mostrano un'ottima resistenza del tipo di pistone esaminato all'innescio di cricche di fatica ed alla propagazione dei difetti, anche severi, appositamente introdotti sulla superficie di testa.

ABSTRACT

Fatigue behaviour of spark ignition engines pistons fueled by ethanol-gasoline blend is analyzed by means of full-scale tests carried out by a test-bed and an universal servo-hydraulic testing machine that has been equipped with a special fixture to simulate mechanical service loads.

Experimental results show that the examined pistons have high fatigue crack nucleation strength and can tolerate the presence of severe defects machined on piston head surfaces without propagation occurring.

1. INTRODUZIONE

L'impiego sempre più auspicato e sperimentato di miscele benzina-etanolo per l'alimentazione di motori ad a.c. ha posto e continua a porre, come è noto, diversi problemi all'industria del settore, sia di natura economico-commerciale, sia di natura tecnica. I primi problemi, pur essendo preminenti e determinanti nella scelta del combustibile alternativo, essendo strettamente legati agli interessi politici dei paesi coinvolti, non vengono presi in considerazione in questa nota, essendo la nostra un'indagine che si colloca esclusivamente nell'area della ricerca sperimentale, da tempo finalizzata, nel settore automobilistico, alla verifica delle possibilità di sostituire i combustibili tradizionali con altri alternativi, senza compromettere l'efficienza e l'affidabilità dei motori, per limitare almeno in parte la nocività dei gas di scarico, anche sacrificando, per ora, l'economia di esercizio.

Molti lavori sono stati finora condotti in questo campo di indagine, ma esclusivamente per studiare l'efficienza motoristica e delle marmitte catalitiche [ad es. 1-2]. Nulla c'è dato di riscontrare nella letteratura tecnica che riguardasse studi o prove su organi difettati del motore sollecitati a fatica in presenza di miscele di combustibili benzina-alcool. Eppure, l'ambiente corrosivo [3-6] che, come è ben noto, riduce i tempi di nucleazione e propagazione del danno da fatica, in uno con le condizioni di cimento meccanico e termico del motore, dovrebbero far preoccupare il progettista che ha calcolato finora quegli organi trascurando gli effetti della tenso-corrosione e della corrosione-fatica. Di qui il nostro interesse ad avviare un'indagine sperimentale volta a studiare l'effetto della utilizzazione della miscela benzina-etanolo al 10 % sul comportamento di difetti artificialmente introdotti in corrispondenza della superficie di testa di un tipo di pistone commerciale di larga diffusione per motori ad a.c.

Un altro motivo di speculazione sull'argomento ci è stato offerto dalla constatazione che una percentuale di detti pistoni non inferiore al 5% viene attualmente scartata per difetti di fabbricazione del tutto simili a quelli da noi introdotti nei pistoni integri per la sperimentazione: verificare la tollerabilità di tali difetti, potrebbe portare all'utilizzo degli scarti di produzione con vantaggi economici non trascurabili.

Di seguito, verranno riportati e commentati i primi risultati di una sperimentazione condotta sull'articolo di prova prescelto, sia mediante un motore al banco, sia utilizzando una macchina di prova universale adeguatamente attrezzata per riprodurre condizioni meccaniche prossime a quelle cui il pistone è sottoposto in esercizio.

2. SPERIMENTAZIONE

La scelta dell'etanolo è essenzialmente dettata da motivi di disponibilità, oltre che dalla considerazione del forte interesse di molti gruppi industriali verso questo combustibile alternativo ottenibile, tra l'altro, in grande quantità dai processi fermentativi delle biomasse. La percentuale di alcool scelta è pari al 10%. Questa scelta è scaturita dall'analisi dei risultati di alcune prove di miscibilità di benzina commerciale con etanolo anch'esso commerciale (vedi tab. 1), nonché dalla necessità di sperimentare, in questa prima indagine, con una sola miscela, per motivi di economia delle prove. Invero, il contenuto d'acqua nell'alcool o nella benzina influenza sensibilmente la miscibilità dei due liquidi, per cui se si vogliono evitare effetti di smiscelazione in miscele ricche d'alcool è necessario impiegare prodotti di partenza molto anidri, come quelli scelti per le nostre prove.

La sperimentazione è stata effettuata con un banco prova dell'Istituto Motori del C.N.R. di Napoli e con un sistema di prova universale del Dipartimento di Progettazione e Gestione Industriale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II.

2.1. Preparazione degli articoli di prova

L'articolo di prova è un pistone in lega di Al prodotto in Italia. Per poter avere indicazioni sui processi di danneggiamento operanti nelle diverse zone del pistone, sono stati preparati vari articoli di prova, ciascuno con un tipo di intaglio diverso: radiali e d'angolo in corrispondenza dello spigolo di testa, entrambi sul lato

Tab. 1 – Miscibilità di etanolo in benzina alla temperatura di 20 °C.

benzina	etanolo	% v/v di alcool	miscelazione: (m) smiscelazione: (s)
NORMALE	<i>denaturato al 99,9% v.</i>	5	<i>s</i>
"	<i>denaturato al 94% v.</i>	5	<i>s</i>
"	" " " "	10	<i>s</i>
"	" " " "	20	<i>s</i>
"	<i>assoluto al 95% v.</i>	5	<i>s</i>
"	" " " "	10	<i>s</i>
"	" " " "	15	<i>s</i>
"	" " " "	20	<i>s</i>
"	<i>assoluto al 99,8% v.</i>	5	<i>m</i>
"	" " " "	10	<i>m</i>
"	" " " "	15	<i>m</i>
"	" " " "	20	<i>s/m</i>
"	<i>assoluto al 99,9% v.</i>	5	<i>m</i>
"	" " " "	10	<i>m</i>
"	" " " "	15	<i>m</i>
"	" " " "	20	<i>m</i>
SUPER	<i>assoluto al 95% v.</i>	5	<i>s</i>
"	" " " "	10	<i>s</i>
"	" " " "	15	<i>m</i>
"	" " " "	20	<i>m</i>
"	<i>assoluto al 99,8% v.</i>	5	<i>m</i>
"	<i>denaturato al 99,9% v.</i>	10	<i>m</i>

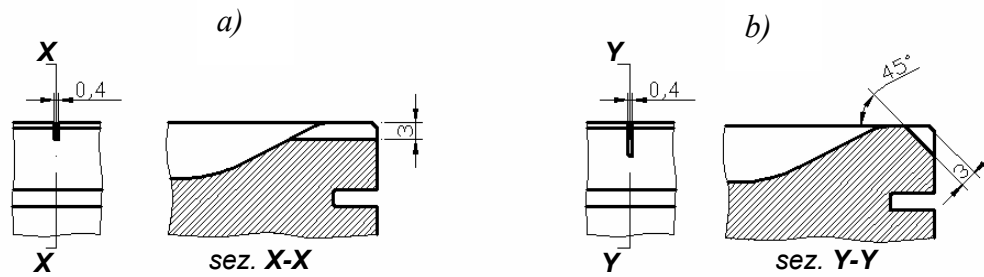


Fig. 1 – Intagli in corrispondenza dello spigolo di testa.

opposto a quello di spinta (figg. 1a e 1b), radiali e circonferenziali sulla superficie esterna di testa (fig. 2a) ed, infine, radiali sulla superficie interna di testa (fig. 2b).

Gli intagli d'angolo e quelli radiali partenti dallo spigolo di testa sono stati ottenuti con una fresa a disco di spessore $h = 0.4$ mm, montata su fresatrice nel cui piano portapezzi era stato fissato un posizionatore con tre gradi di libertà per il posizionamento ottimale del pistone rispetto all'utensile.

Gli intagli sulle superfici interna ed esterna, di profondità pari a 4.5 mm, sono stati ottenuti mediante elettroerosione, utilizzando un elettrodo di rame di spessore $h = 0.25$ mm.

2.2 Prove al banco

Per la sperimentazione è stato utilizzato un motore a 4 tempi, con 4 cilindri orizzontali contrapposti aventi corsa pari a 67mm ed alesaggio di 84 mm, con una cilindrata totale di 1489 cc. Nel corso delle prove al banco esso è stato collegato ad un freno idraulico per la misura della coppia motrice.

Le condizioni di prova sono scaturite da alcune misure preliminari, che hanno consentito di individuare il regime di coppia massima, e dalla scelta di intervallare i regimi di massimo cimento per i pistoni con transitori di breve durata simulanti manovre di esercizio. Ne è derivato il seguente ciclo di prova:

- funzionamento del motore a 4000 giri/min al regime di coppia massima per 50 min;
- passaggio rapido, con regolazione del freno nella stessa posizione, a 1500 giri/min e mantenimento del nuovo regime per un tempo $t = 2$ min;
- ritorno rapido a 4000 giri/min e mantenimento per $t = 2$ min;
- passaggio per altri due minuti a 1500 giri/min;
- ritorno a $n = 4000$ giri/min ancora per due minuti;
- di nuovo, infine, a $n = 1500$ giri/min per altri due minuti;
- inizio del nuovo ciclo a 4000 giri/min ed al regime di coppia massima per 50 min.

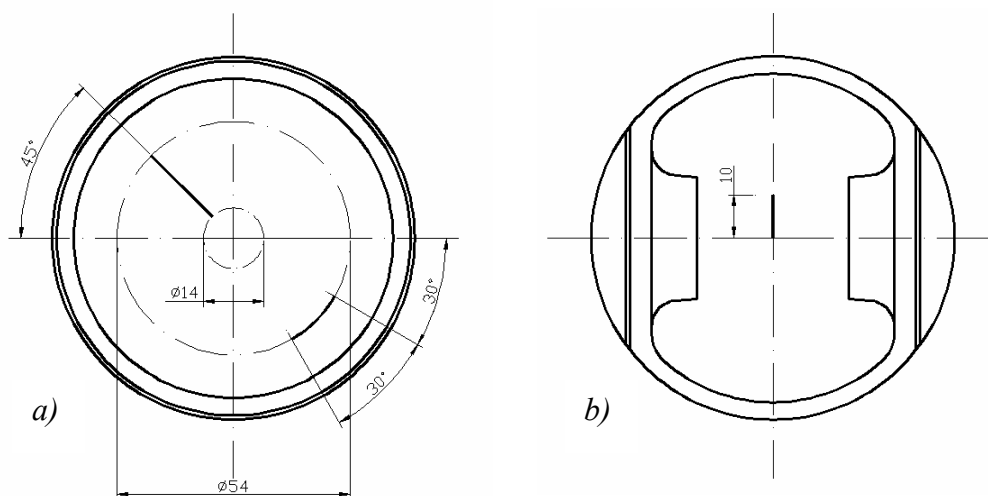


Fig. 2 – Intagli sulla superficie esterna (a) ed interna (b) di testa.



Fig. 3 – Attrezzatura per le prove mediante macchina universale.

Il raffreddamento dell'olio lubrificante e dell'acqua è stato effettuato con due scambiatori di calore, il cui regime di funzionamento era controllato, tramite due elettrovalvole, da un sistema di controllo della temperatura.

I parametri controllati durante le prove sono stati: la coppia motrice, le temperature di ingresso e di uscita dal motore dell'olio lubrificante, le temperature di ingresso ed uscita dell'acqua di raffreddamento, il consumo orario, la pressione del circuito dell'olio, la velocità di rotazione dell'albero motore e la pressione nel basamento. Detta pressione che per $n = 4000$ giri/min è inferiore a quella atmosferica, è stata scrupolosamente rilevata e seguita nel tempo, essendo il suo valore direttamente legato alle fughe di gas che si sarebbero potute verificare qualora i difetti introdotti nei pistoni fossero diventati passanti nel corso della generica prova. Operando in tal modo è stato possibile interrompere la prova, per ispezionare gli articoli di prova, ogni qualvolta si osservavano valori dei parametri controllati corrispondenti ad un funzionamento anomalo del motore.

2.3. Prove alla macchina universale

Le condizioni di carico meccanico sul pistone, tipiche dell'esercizio reale al banco prova, sono state riprodotte con la macchina universale per mezzo di una attrezzatura 'a calice' (fig 3). Essa consiste in un cilindro cavo, munito di fondo, di opportuno diametro per accogliere la testa del pistone e lasciarla libera di scorrere. Fra la testa del pistone e il fondo del cilindro si realizza così un volume in cui è possibile intrappolare un liquido aggressivo in pressione per simulare, quindi, carico ed aggressione chimica. Il calice è stato ottenuto di pezzo, mediante tornitura, ed è stato munito di un codolo cilindrico per renderlo solidale all'afferraggio fisso della macchina. L'articolo di prova, invece, è stato montato su di una biella in acciaio inserita nell'afferraggio mobile.

Lo spazio tra fondo del cilindro e cielo del pistone è stato riempito, prima di ciascuna prova, con la miscela di etanolo e benzina utilizzata per le prove al banco, introdotta, mediante un circuito idraulico, attraverso un foro praticato sul fondo. Un secondo foro, anch'esso realizzato sul fondo ed a chiusura ermetica, ha permesso la fuoriuscita dell'aria durante l'inserimento della miscela, mentre un manometro, inserito in un terzo foro della parete del cilindro, ha consentito di misurare la pressione esercitata sul pistone. La tenuta tra pistone e cilindro è stata realizzata mediante un anello in gomma inserito in una cava toroidale realizzata in luogo della gola di alloggiamento della prima fascia elastica di tenuta. Le perdite di fluido, che accidentalmente si sono verificate nel corso delle prove, sono state raccolte in una vaschetta-serbatoio posta inferiormente al pistone intorno alla biella e reinserite nel cilindro tramite il circuito idraulico.

La macchina di prova impiegata è di tipo servoidraulico, dotata di microprocessore per la programmazione, la gestione ed il controllo delle condizioni di carico. Le prove sono state condotte in controllo di carico, con onda sinusoidale pulsante dallo zero e frequenza di prova pari a 20 Hz.



Fig. 4 – L'articolo di prova danneggiato nel corso della prova al banco.

3. RISULTATI

La prova al banco è stata effettuata su quattro pistoni difettati, di cui due muniti di intaglio radiale e due muniti di intaglio d'angolo. Dopo circa 160 h di funzionamento del motore secondo il ciclo di prova prima definito, sono state riscontrate variazioni nei valori attinti dai parametri controllati, nelle condizioni di regime di coppia massima: diminuzione della depressione nel basamento, caduta di coppia, aumento della temperatura di uscita dell'olio, diminuzione della pressione del circuito dell'olio. Per questo motivo la prova è stata interrotta per smontare gli articoli di prova ed ispezionarli. Delle anomalie di funzionamento riscontrate al banco prova motori è risultato responsabile il danneggiamento subito da uno dei pistoni con intaglio radiale. Sul fondo di detto intaglio è stata infatti rilevata la formazione di una cavità 'a caverna'. Inoltre, è stata riscontrata, nella regione del pistone immediatamente sottostante l'intaglio, l'incollaggio della prima fascia elastica ed il distacco di un segmento della corona di materiale che separa gli alloggiamenti della prima e seconda fascia fig. 4. Una porzione della corrispondente superficie di frattura è risultata caratterizzata da morfologia a spiaggia, con linee d'arresto, e parzialmente ricoperta da depositi di gas combusti dello stesso tipo di quelli presenti, in gran quantità, sulla superficie di lavoro del pistone. Tutti i pistoni sono stati infine sottoposti all'esame con liquidi penetranti e non è stata riscontrata la presenza di alcuna cricca di fatica.

Mediante la macchina di prova universale sono state invece effettuate due sole prove, interrotte dopo 10^7 cicli. Di queste, la prima è stata condotta con un pistone intagliato sulla superficie esterna di testa (fig. 2a) e con carico massimo $P_1 = 36.1$ kN, valore a cui corrisponde un valore di pressione della miscela nel "calice" pari a quello massimo misurato nelle prove al banco in camera di combustione, mentre la seconda con un pistone con intaglio radiale sulla superficie interna (fig. 2b) e con carico massimo $P_2 = 1.2 * P_1 = 42.5$ kN. Su entrambi gli articoli di prova testati è stato effettuato l'esame con liquidi penetranti, non riscontrando la presenza di cricche di fatica al vertice dei difetti introdotti e sul fondo degli altri intagli presenti.

4. CONCLUSIONI

Per studiare i meccanismi di danneggiamento responsabili della propagazione dei difetti in un particolare tipo di pistone per motori ad a.c. e definire, quindi, i criteri di tollerabilità del danno in tali manufatti, è stato strumentato e messo al banco prova un motore ad a.c., equipaggiato con i pistoni da provare. Per simularne il funzionamento è stato allestito un impianto sperimentale costituito da una macchina di prova universale e da una speciale attrezzatura in grado di realizzare negli articoli di prova le stesse condizioni di cemento meccanico.

I primi risultati ottenuti, sebbene relativi a durate esigue rispetto a quelle fissate dalle necessità progettuali, sono utili per orientare i futuri programmi di ricerca. In tutti i pistoni provati al banco, infatti, non sono state riscontrate cricche di fatica, bensì erosioni localizzate sul fondo degli intagli, imputabili a processi di tensocorrosione. Le prove effettuate con la macchina di prova universale, hanno confermato i risultati ottenuti al banco prova motori, non essendosi verificati inneschi di cricche di fatica dopo 10^7 cicli di sollecitazione, corrispondenti a 83 ore di funzionamento al banco.

Queste ultime sono state condotte riproducendo le condizioni di carico meccanico di esercizio e in parte quelle di ambiente aggressivo. Infatti è stata impiegata una miscela super-etanolo al 10% come liquido idraulico a temperatura ambiente, con esclusione, quindi, delle severe condizioni di cimento termico e di attacco corrosivo che nella realtà accompagnano quelle meccaniche reali, al banco prova. Tuttavia, la severità degli intagli prodotti nei pistoni, in uno con i valori di durata raggiunti, sono significativi di una elevata resistenza dei pistoni presi in considerazione nei riguardi della propagazione di eventuali difetti che per un motivo qualsiasi dovessero presentarsi sulla loro superficie attiva.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M.Gambino,G.Rizzo, "Lean burn engine fueled with alcohol-gasoline blends", VIII International Symposium on Alcohol Fuels, Tokyo 13-16 Nov 1988, pp 419-423.
- [2] R.Cericola, P.Corbo, M.Gambino, S.Iannaccone, A.Unich, "Effects of oxygenated additives on emissions of a spark ignition engine with three-way catalyst", IX International Symposium on Alcohol Fuels, Firenze, 1991, vol.2 pp 682-687.
- [3] Wagner TO, Gray DS, Zarah BY, Kozinski AA, "Practicability of alcohols as motor fuel", SAE 1979, Paper no. 790429, pp. 1591-1607.
- [4] Hsieh WD, Chen RH, Wu TL, Lin TH, "Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels", Atmos. Environ., 2002, 36, pp.403-10.
- [5] Thring RH, "Alternative fuels for spark-ignition engines", SAE 1983, Paper n° 831685, pp. 4715-25.
- [6] Brinkman N., Halsall R., Scott WJ, Kirwan JE, "The development of improved fuel specifications for methanol (M85) and Ethanol (Ed85)", in "Alternate Fuels: a Decade of Success and Promise" – PT48 edited by Reda Moh. Bata, SAE Inc, 1995, pp. 23-36.