

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale
«Il combustibile JP-8 (NATO F-34):
composizione, proprietà e impiego
operativo»***

Tutor universitario: Prof. Roberta Bertani

Laureando: *Brando Pruccoli*

Padova, 17/03/2023

1. Introduzione
2. Storia
3. Composizione Chimica
 - a) Determinazione
 - b) Composizione
 - c) Classi
4. Proprietà Chimico-Fisiche
 - a) Classi
 - b) Effetti
5. Confronto con Altri Carburanti
 1. JP-8 vs Jet A-1
 2. JP-8 vs JP-4 e JP-8 vs gasolio
6. Vantaggi e Svantaggi
7. Conclusioni
8. Bibliografia e Crediti
9. Ringraziamenti



Il settore aeronautico è sempre stato caratterizzato da una rapida espansione su tutti i fronti. Di continuo si presentano a ingegneri e scienziati nuove sfide sempre più complesse per stare al passo con il progresso. Il settore militare, d'altra parte, grazie alla grande quantità di investimenti e a causa della sua importanza geopolitica, è costantemente alla ricerca dei migliori sistemi per garantire il proprio dominio ove richiesto.

In questa presentazione si discutono gli aspetti chimici legati alla composizione e le proprietà che ne derivano, evidenziando inoltre vantaggi e svantaggi che accompagnano l'impiego di questa miscela complessa.



CLASSE JP

Al termine della Seconda Guerra Mondiale venne avviata dalle Nazioni Occidentali la ricerca con lo scopo di ottenere un *combustibile unico* da poter impiegare sul campo di battaglia. Mentre i primi tre non trovarono un impiego duraturo, il JP-4 (*NATO F-40*) venne utilizzato per più di 40 anni, nel periodo 1951-1995. Nonostante le sue prestazioni, col tempo fu necessario sostituirlo. Altri tre carburanti vennero prodotti: il JP-5, tuttora in uso sulle portaerei, e il JP-6 e il JP-7, ad uso altamente specifico (su XB-70 e SR-71).

JP-8

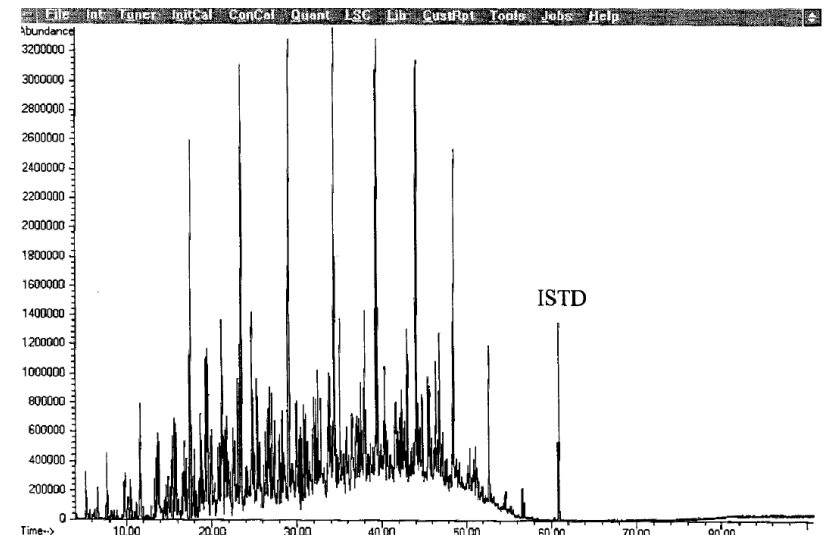
Nel 1979 venne introdotto il JP-8 (*NATO F-34*) che dal 1995 sostituì completamente il JP-4. Tramite lo *STANAG 4362* si decise che i nuovi veicoli ed equipaggiamenti dovranno essere in grado di operare sia il gasolio (*NATO F-54*) sia il JP-8, senza peggioramenti degni di nota nelle prestazioni.



DETERMINAZIONE DELLA COMPOSIZIONE

Per ottenere il maggior numero di informazioni possibili è stato impiegato il metodo della *gascromatografia-spettrometria di massa (GC-MS)*, con la quale si separano i composti nel campione (GC) e si separano gli ioni in base al rapporto massa/carica (MS).

- Standard Interno (ISTD): d₁₀-antracene
- Miscela
 - 0,8 mL cloruro di metilene
 - 0,1 mL JP-8
 - 0,1 mL ISTD



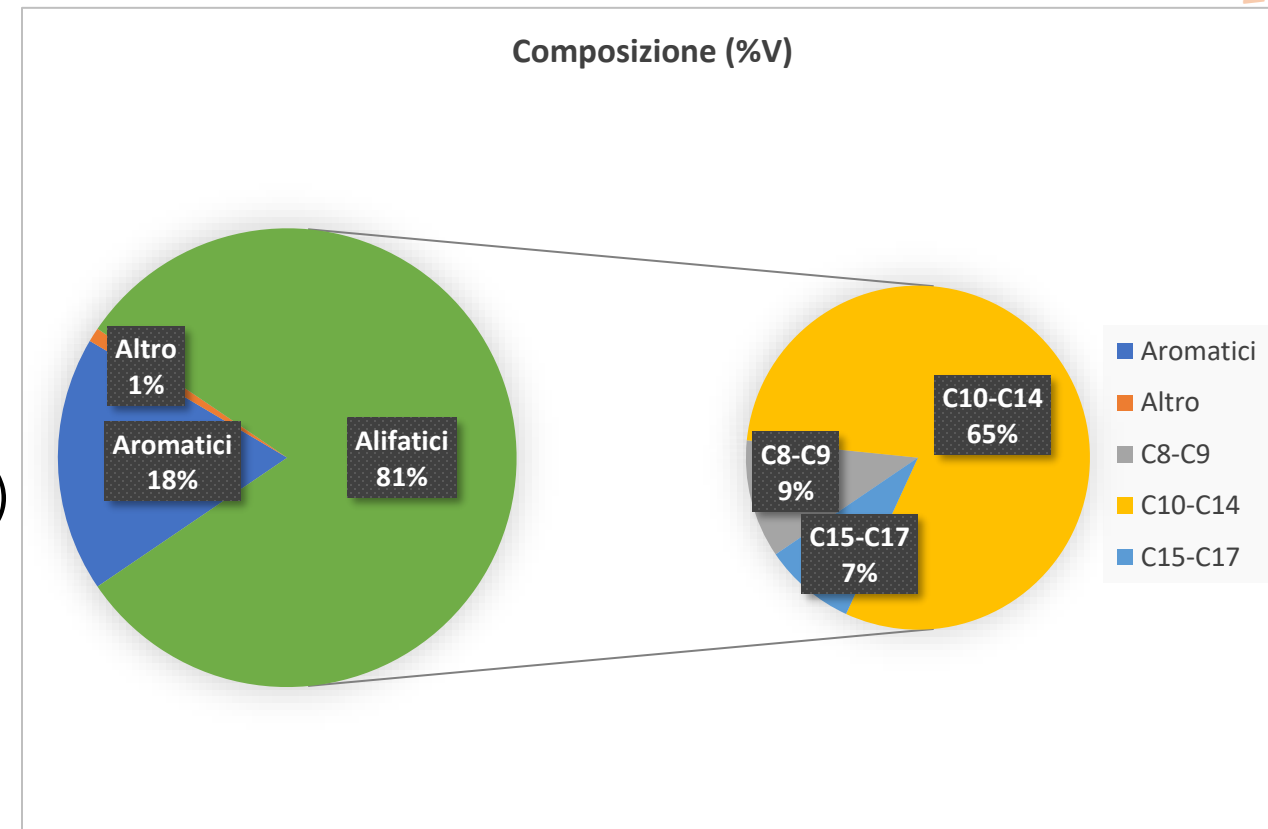
RISULTATI OTTENUTI

Sono stati individuati 225 composti, di cui i primi 100 costituiscono il 94% dell'area totale del grafico della GC-MS. Per quanto riguarda il volume invece, si è trovato che il JP-8 è composto come segue:

- 81% idrocarburi alifatici
 - 9% $C_8 - C_9$
 - 65% $C_{10} - C_{14}$
 - 7% $C_{15} - C_{17}$
- 18% idrocarburi aromatici
- 1% altro

Si possono suddividere le molecole in quattro classi:

- n-alcani (lineari) e isoalcane (ramificati), (paraffine)
- cicloalcani (nafteni)
- alcheni (olefine)
- aromatici



Mass Spectral Identification	Mean Area%
n-dodecane	6.114
n-tridecane	5.252
n-decane	5.146
n-undecane	5.032
n-tetradecane	3.872
n-nonane	2.682
4-methyldecane + 1-isopropyl-3-methylbenzene	2.355
n-pentadecane	2.248
n-undecane (split peak?)	1.966
6-methyldodecane	1.857
7-methyltridecane	1.793
1-ethyl-3-methylbenzene or 1-ethyl-4-methylbenzene	1.759
1,2,4-trimethylbenzene	1.568
(1-methyl-1-propenyl)-benzene	1.558
2-methylundecane	1.501
2-methyldecane	1.457
3-methylnonane	1.377
1-ethyl-2-methylbenzene	1.352
(1-methylpropyl)-cyclohexane	1.326
d10-anthracene (internal standard)	1.256
2-methyldecahydronaphthalene	1.216
2,7,10-trimethyldodecane	1.215
(trans)-decahydronaphthalene (isomer uncertain)	1.201
3-methyldecane	1.171
4-methylundecane	1.111
3-methylundecane	1.093
2,6,10,15-tetramethylheptadecane	0.992
5-methyldecane	0.972
2-methyldodecane	0.969
3-methyldecane	0.943
1,2,4-trimethylbenzene or isomer	0.933
m&p-xylenes	0.931
2,8-dimethylundecane	0.917
3-methylnonane	0.917
trans-anti-1-methyldecahydronaphthalene	0.917
n-hexadecane	0.903
1-ethyl-3,5-dimethylbenzene	0.871
2-methyloctane	0.869
1-methyl-2-(1-methylethyl)-benzene	0.848
1-methyl-3-propylbenzene	0.812

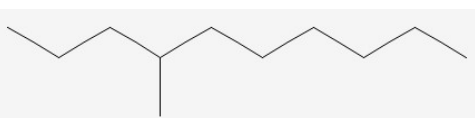
Mass Spectral Identification	Mean Area%
propylcyclohexane	0.798
2-methyltridecane	0.755
octylcyclohexane	0.724
2,6-dimethylheptane	0.705
6-methyldodecane	0.672
o-xylene	0.652
4-methyldodecane	0.642
propylbenzene	0.618
n-octane	0.617
cyclohexylundecane	0.604
3-methyloctane	0.599
1,2,3,4-tetrahydro-2-methylnaphthalene	0.591
1-methyl-2-(1-methylethyl)-benzene	0.587
1-methyl-3-propylbenzene	0.551
4-(1-methylethyl)-heptane or 3-ethyl-2-methylheptane	0.527
4,5-dimethylcyclohexen-1-one	0.501
(1-methylethyl)-benzene	0.488
naphthalene	0.484
trans-1-ethyl-4-methylcyclohexane	0.463
decylcyclopentane	0.452
2-ethyl-1,4-dimethylbenzene	0.450
4-methylnonane	0.449
1-methyl-2-propylbenzene	0.398
citronella (?)	0.397
2,3-dihydro-2-methyl-1H-indene	0.393
2,6-dimethyl-naphthalene	0.375
2,3-dihydro-1-methyl-1H-indene	0.374
2-ethyl-1,3-dimethylcyclohexane	0.366
5-methylnonane	0.358
1-methylnaphthalene	0.353
trans-1-ethyl-4-methylcyclohexane	0.339
nonadecanoic acid, hexyl ester (not very likely)	0.335
1,1,2,3-tetramethylcyclohexane	0.296
cyclohexane + benzene	0.294
C15-hydrocarbon	0.291
4,4-dimethyl-2-pentene	0.287
unidentified	0.281
n-heptadecane	0.278
2,3,6-trimethyldodecane	0.278
1,1,3-trimethylcyclohexane	0.276

Mass Spectral Identification	Mean Area%
4,5-dimethylnonane	0.270
1-methyl-2-propylcyclopentane	0.266
2,3-dimethylheptane	0.265
cis-octahydro-1H-indene	0.262
3-methyltridecane	0.260
6-methyl-4-decene	0.260
2,3-dihydro-1H-indene	0.253
unidentified branched hydrocarbon	0.250
2,6-dimethylheptane	0.234
2,6-dimethylundecane	0.227
1,4-dimethylcyclohexane	0.224
unidentified	0.224
1-ethyl-4-methylcyclohexane	0.223
(1-methylethyl)-cyclohexane	0.221
ethylcyclohexane	0.220
citronella	0.213
toluene	0.206
7-methyl-6-tridecene	0.203
ethylbenzene	0.199
3-methylheptane	0.185

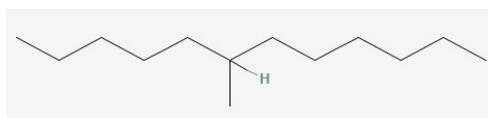
N-ALCANI E ISOALCANI

Fanno parte di questa categoria gli idrocarburi aciclici saturi, ossia molecole con legame singolo C-C. Questi composti costituiscono il 31,110% e il 28,185% del totale, ossia il 59,295% del JP-8.

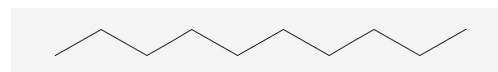
Mass Spectral Identification	Mean Area%
n-dodecane	6,114
n-tridecane	5,252
n-decane	5,146
n-undecane	5,032
n-tetradecane	3,872
n-nonane	2,682
n-pentadecane	2,248
n-undecane (split peak?)	1,966
n-hexadecane	0,903
n-octane	0,617
n-heptadecane	0,278



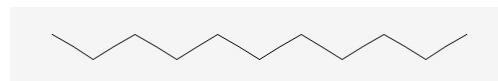
4-metildecano



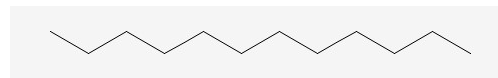
6-metildodecano



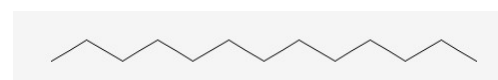
n-decano



n-undecano



n-dodecano



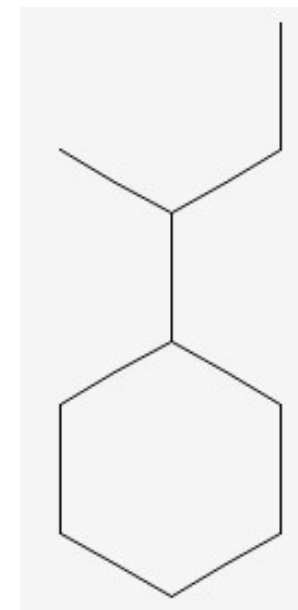
n-tridecano

Mass Spectral Identification	Mean Area%
4-methyldecane + 1-isopropyl-3-methylbenzene	2,355
6-methyldecane	1,857
7-methyltridecane	1,793
2-methylundecane	1,501
2-methyldecane	1,457
3-methylnonane	1,377
2,7,10-trimethyldodecane	1,215
3-methyldecane	1,171
4-methylundecane	1,111
3-methylundecane	1,093
2,6,10,15-tetramethylheptadecane	0,992
5-methyldecane	0,972
2-methyldodecane	0,969
3-methyldecane	0,943
2,8-dimethylundecane	0,917
3-methylnonane	0,917
2-methyloctane	0,869
2-methyltridecane	0,755
2,6-dimethylheptane	0,705
6-methyldodecane	0,672
4-methyldodecane	0,642
3-methyloctane	0,599
4-(1-methylethyl)-heptane or 3-ethyl-2-methylheptane	0,527
4-methylnonane	0,449
5-methylnonane	0,358
2,3,6-trimethyldecane	0,278
4,5-dimethylnonane	0,270
2,3-dimethylheptane	0,265
3-methyltridecane	0,260
unidentified branched hydrocarbon	0,250
2,6-dimethylheptane	0,234
2,6-dimethylundecane	0,227
3-methylheptane	0,185

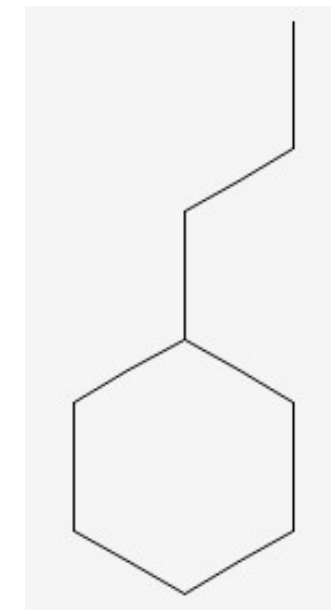
CICLOALCANI

Fanno parte di questa categoria gli idrocarburi monociclici saturi, ossia catene chiuse con legame singolo C-C. Questi composti costituiscono il 7,092% del JP-8.

Mass Spectral Identification	Mean Area%
(1-methylpropyl)-cyclohexane	1,326
propylcyclohexane	0,798
octylcyclohexane	0,724
cyclohexylundecane	0,604
trans-1-ethyl-4-methylcyclohexane	0,463
decylcyclopentane	0,452
2-ethyl-1,3-dimethylcyclohexane	0,366
trans-1-ethyl-4-methylcyclohexane	0,339
1,1,2,3-tetramethylcyclohexane	0,296
cyclohexane + benzene	0,294
1,1,3-trimethylcyclohexane	0,276
1-methyl-2-propylcyclopentane	0,266
1,4-dimethylcyclohexane	0,224
1-ethyl-4-methylcyclohexane	0,223
(1-methylethyl)-cyclohexane	0,221
ethylcyclohexane	0,220



(1-metilpropil)-cicloesano

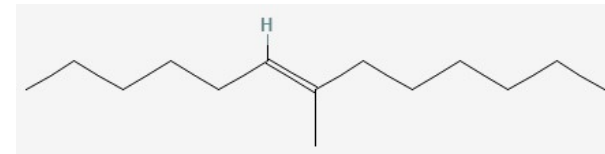


propilcicloesano

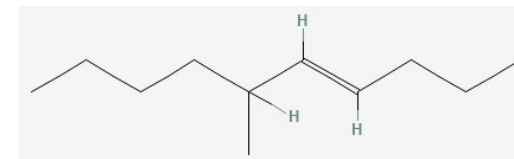
ALCHENI

Fanno parte di questa categoria gli idrocarburi aciclici insaturi, ossia molecole con legame doppio C=C. Questi composti costituiscono il 0,750% del JP-8.

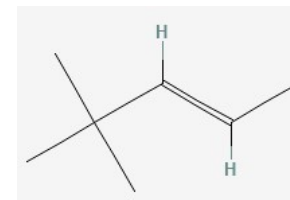
Mass Spectral Identification	Mean Area%
4,4-dimethyl-2-pentene	0,287
6-methyl-4-decene	0,260
7-methyl-6-tridecene	0,203



4,4-dimetil-2-pentene



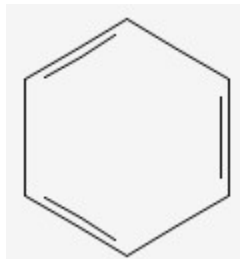
6-metil-4-decene



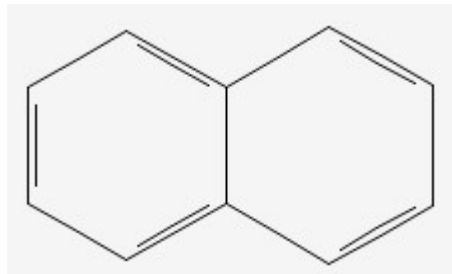
7-metil-6-tridecene

AROMATICI

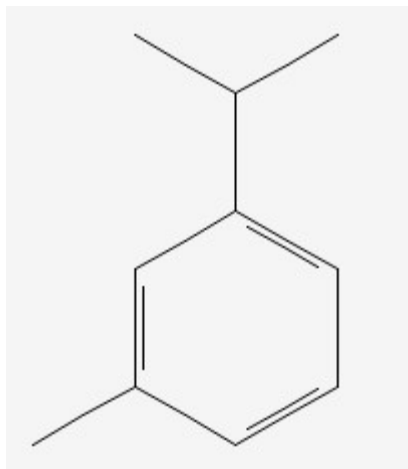
Fanno parte di questa categoria gli idrocarburi aromatici, ossia molecole con almeno un anello aromatico. Si tratta di una struttura planare, dove tutti gli atomi condividono $4n+2$ elettroni in orbitali di tipo p . Questi composti costituiscono il 25,105% del JP-8.



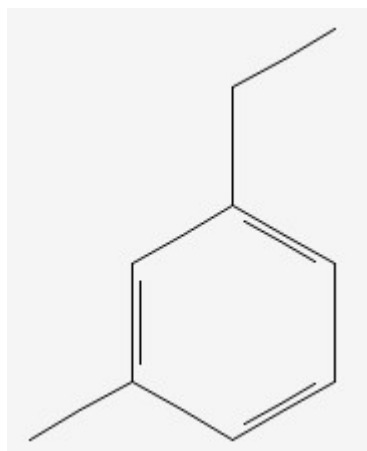
benzene



naftalene



1-isopropil-3-metilbenzene



1-etil-3-metilbenzene

Mass Spectral Identification	Mean Area%
4-methyldecane + 1-isopropyl-3-methylbenzene	2,355
1-ethyl-3-methylbenzene or 1-ethyl-4-methylbenzene	1,759
1,2,4-trimethylbenzene	1,568
(1-methyl-1-propenyl)-benzene	1,558
1-ethyl-2-methylbenzene	1,352
d10-anthracene (internal standard)	1,256
2-methyldecahydronaphthalene	1,216
(trans)-decahydronaphthalene (isomer uncertain)	1,201
1,2,4-trimethylbenzene or isomer	0,933
m&p-xylenes	0,931
trans-anti-1-methyldecahydronaphthalene	0,917
1-ethyl-3,5-dimethylbenzene	0,871
1-methyl-2-(1-methylethyl)-benzene	0,848
1-methyl-3-propylbenzene	0,812
o-xylene	0,652
propylbenzene	0,618
1,2,3,4-tetrahydro-2-methylnaphthalene	0,591
1-methyl-2-(1-methylethyl)-benzene	0,587
1-methyl-3-propylbenzene	0,551
(1-methylethyl)-benzene	0,488
naphthalene	0,484
2-ethyl-1,4-dimethylbenzene	0,45
1-methyl-2-propylbenzene	0,398
2,3-dihydro-2-methyl-1H-indene	0,393
2,6-dimethylnaphthalene	0,375
2,3-dihydro-1-methyl-1H-indene	0,374
1-methylnaphthalene	0,353
cyclohexane + benzene	0,294
cis-octahydro-1H-indene	0,262
2,3-dihydro-1H-indene	0,253
toluene	0,206
ethylbenzene	0,199

- **Densità (m/V):** aumenta con i C, aromatici>cicloalcani>alcani
- **Temperatura di Fusione:** aumenta con i C, lineari>ramificati
- **Temperatura di Ebollizione:** aumenta con i C, lineari>cicloalcani>ramificati (C>9)
- **Energia Specifica:**
 - **Gravimetrica (E/m):** alcani>cicloalcani>aromatici
 - **Volumetrica (E/V):** aromatici>cicloalcani>alcani

Proprietà	Valore
Colore	Giallo trasparente
Densità	0,775 – 0,840 kg/L
T_infiam	>38°C
T_solid	-47°C
T_ebol	162°C
T_autoign	238°C
Limite Infiam.	0,6% - 4,9%

DANNI ALL'AMBIENTE

Per quanto riguarda le problematiche ambientali, il JP-8 può diventare pericoloso quando, una volta che entra a contatto col suolo, può raggiungere le falde acquifere e contaminarle. Da qui può poi essere assimilato dagli organismi viventi, tra cui l'uomo. Una volta che entra a contatto con l'uomo, si riscontrano diversi problemi sulla sua salute.

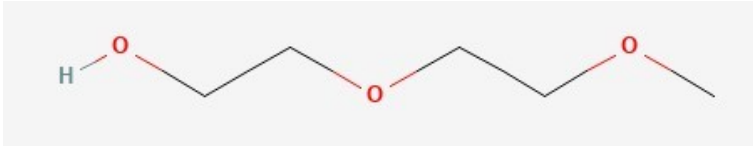
DANNI ALLA SALUTE

È stato osservato che il contatto prolungato con questo carburante abbia effetti negativi sull'uomo. In particolare, si sono incontrati come sintomi irritazione alla pelle, problemi ai polmoni, cefalea, disturbo del sonno, difficoltà nella concentrazione e nell'equilibrio, stanchezza. Per questo motivo l'esposizione standard è di 350 mg/m^3 per un periodo di 8 ore o di 1800 mg/m^3 per un periodo di 15 minuti.

Il JP-8 (*NATO F-34*), un combustibile militare, risulta praticamente identico al Jet A-1 (*NATO F-35*), un combustibile civile, fatta eccezione per tre additivi, necessari per raggiungere le specifiche richieste:

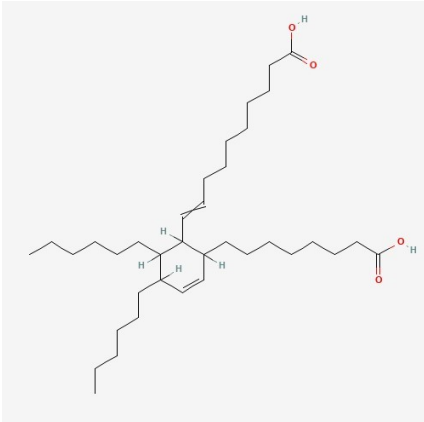
- **Inibitore di Ghiaccio (MIL-DTL-85470):** previene la formazione di ghiaccio. Infatti, all'interno del carburante sono presenti delle tracce di acqua che può congelarsi all'interno dei condotti o dei filtri, bloccando l'approvvigionamento dal serbatoio al motore. Viene impiegato il *2-(2-metossietossi)-etanolo* (0,10 – 0,15 % della miscela).
- **Inibitore di Corrosione/Lubrificante (MIL-PRF-25017):** previene il deterioramento dei materiali con i quali il JP-8 viene a contatto, tipicamente metalli e leghe. L'additivo ha anche potere lubrificante, migliorando l'accoppiamento tra parti in movimento poste in contatto meccanico. Per il JP-8 viene di norma usato il *DCI-6A*, il cui ingrediente attivo è l'acido dilinoleico, che crea una pellicola protettiva.
- **Agenti Antistatici:** previene l'accumulo di cariche elettrostatiche sulla superficie dei materiali. Le cariche elettriche potrebbero innescare un incendio all'interno del carburante e vano quindi limitate il più possibile. Di norma nel JP-8 viene impiegato il *STADIS 450*, che contiene 66% toluene, 13,3% 1-decene polisolfone, 13,3% poliammine e 7,4% acido dodecilbenzensolfilico.

Inibitore di ghiaccio



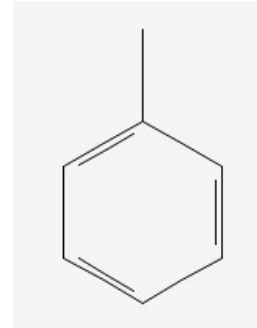
2-(2-metossietossi)-etanolo

Inibitore di Corrosione/Lubrificante

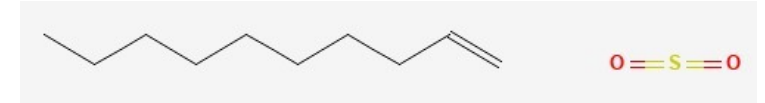


acido dilinoleico

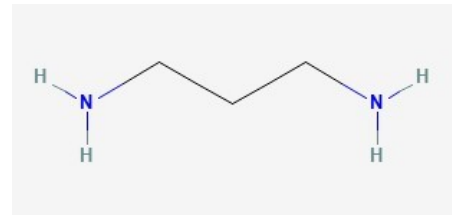
Agenti Antistatici



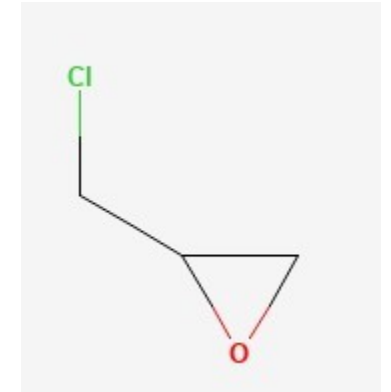
toluene



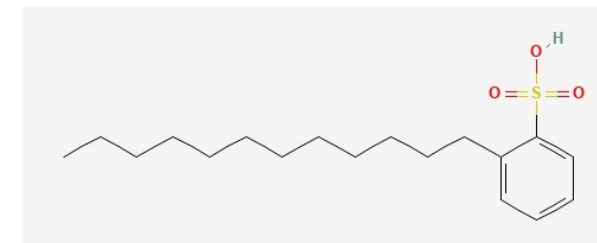
1-decene polisolfone



1,3-diamminopropano



epicloridrina



acido dodecilbenzensolfilico

JP-8 vs JP-4 (NATO F-40)

Anche se il JP-4 veniva usato a bordo di velivoli, la composizione e le proprietà erano diverse. A differenza del JP-8 che è una miscela cherosenica, il JP-4 è una miscela *wide cut*, composta dal 50% di cherosene e dal 50% di gasolio. Il JP-8 risulta meno nocivo sulla salute, visto il minor contenuto di *benzene* (cancerogeno) e di *n-esano* (neurotossina). Il JP-8 inoltre risulta meno volatile e meno infiammabile (più sicuro), ma ha una temperatura di congelamento più alta.

JP-8 vs gasolio (NATO F-54)

Per quanto riguarda la composizione chimica, il JP-8 è una miscela prevalentemente $C_8 - C_{16}$, mentre il gasolio è una miscela $C_{13} - C_{18}$. Il gasolio ha la proprietà di essere più sicuro, in quanto ha un punto di infiammabilità più alto, $T_{inf,F-54} = 54^{\circ}\text{C}$, rispetto ai $T_{inf,F-34} = 38^{\circ}\text{C}$ del JP-8 ed è più viscoso.

VANTAGGI

- Essendo stato concepito come *combustibile unico*, può essere impiegato su tutti i veicoli (aria e terra) e l'immagazzinamento e la logistica vengono condivisi da più tipi di mezzi; in più può essere impiegato da nazioni diverse all'interno della stessa operazione;
- Il F-34 viene prodotto aggiungendo additivi al F-35, che viene utilizzato in tutto il mondo;
- È caratterizzato da minori emissioni ed è quindi meno nocivo nei confronti dell'ambiente;
- Possiede proprietà lubrificanti, prolungando la vita delle componenti con cui è posto a contatto.

SVANTAGGI

- Quando viene impiegato su motori a ciclo Diesel che sono alimentati a F-54, non consentono di ottenere la massima efficienza prevista per quel motore;
- Richiede l'aggiunta di additivi per ottenere le caratteristiche volute.

SVILUPPI FUTURI

Il JP-8 è stato usato per 44 anni (1979-2023), come il suo predecessore, il JP-4 (1951-1995). Poco si sa sul suo futuro, ma per ora si ipotizza che verrà utilizzato fino (almeno) al 2025. I correnti fatti internazionali politico-militari fanno pensare che la vita operativa verrà probabilmente estesa.

A partire dal 2017 sono stati condotti dall'Aeronautica Militare dei test con miscele di JP-8 e biofuel a bordo di un AMX.

CONCLUSIONI

In conclusione il JP-8 risulta un carburante dalle prestazioni ottime e spicca per la sua sicurezza nell'impiego, evitando congelamento e incendi provocati sia da malfunzionamenti sia durante le operazioni militari.

BIBLIOGRAFIA

- Aeronautica Militare, Comando Logistico, (2018). Norme sul Servizio P.O.L. Avio, CL-SUP-015
- Armstrong Laboratory, (1995), Environics Directorate, Environmental Research Division (AL/EQC), 139 Barnes Drive, Suite 2, Tyndall AFB, FL 32403-5323.
- Bertani, R. (2022). Appunti e slide delle lezioni sul corso di Chimica per l'Ingegneria Aerospaziale.
- Covington, A. (2011). The Investigation of Combustion and Emissions of Jp8 Fuel in an Auxiliary Power Unit, Georgia Southern University.
- Coordinating Research Council Inc., (1983), Handbook of Aviation Fuel Properties.
- Dietzel, K. (2002). Analytical characterization of jet propellant 8 (JP-8) using gas chromatography/mass spectrometry (GC-MS).
- Air BP - The History of Jet Fuel
- Repsol - JP-8
- SkyBrary - FSII
- Innospec - CI, SD
- European Patent EP1568756A1 - SD
- Aeronautica Militare - Sperimentazione Biocombustibile

CREDITI

- holloman.af.mil, U.S. Air Force
- MSgt. John Nimmo Sr., defenseimagery.mil
- user:Polimerek, wikipedia
- <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
- U.S. Air Force
- U.S. Army
- Esercito Italiano
- Brando Pruccoli



Tengo tanto a ringraziare la mia famiglia e i miei amici che hanno creduto in me. Ringrazio il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Padova per avermi trasmesso delle conoscenze così approfondite e cruciali per il mio sviluppo. Ringrazio cordialmente l'Esercito Italiano e il 7° rgt. AVES «Vega» della Brigata Aeromobile «Friuli», in particolare il 48° gr. sqd. Elicotteri d'Attacco A129 «Pavone», sia per la visita ufficiale della sede, sia per il materiale che mi è stato fornito.

Vi ringrazio per la Vostra attenzione

 **E** **ESERCITO** **DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA
INDUSTRIALE**