

Capitolo 19

I combustibili più frequentemente adottati nei motori a combustione interna derivano dal petrolio:

- **benzina:** liquido mobilissimo, limpido, incolore, di odore penetrante, densità $\cong 0,7 \text{ kg/dm}^3$, emette facilmente vapori che bruciano in presenza di una fiamma e formano con l'aria una miscela esplosiva; potere calorifico inferiore è $44000 \div 46000 \text{ kJ/kg}$;
- **oli pesanti** (o nafta): liquidi densi di colore bruno o nerastro con l'odore caratteristico del petrolio, scarsa tendenza all'evaporazione, densità $\cong 0,9 \text{ kg/dm}^3$, punto di infiammabilità di $90 \div 150 \text{ }^\circ\text{C}$ e potere calorifico di $40000 \div 44000 \text{ kJ/kg}$;
- **oli leggeri** (o gasoli): di colore più chiaro delle nafta con poca tendenza all'evaporazione, densità $\cong 0,85 \text{ kg/dm}^3$ e potere calorifico di 42000 kJ/kg .

Per motori a scoppio vi sono altri combustibili come l'**alcol etilico** o **metilico** e il **benzolo**. Si ricorre talvolta a combustibili gassosi quali: **gas d'aria**, **gas misto**, **gas illuminante** ed **acetilene** (dà origine a esplosioni se il rapporto di compressione non è molto modesto) oltre che quelli naturali (**metano** e **gas di petrolio**).

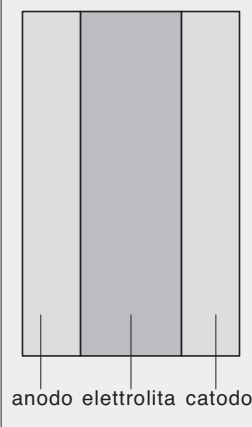
L'**idrogeno** è un gas che brucia nell'aria secondo la reazione $\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} + \text{calore}$ e non provoca effetto serra perché ha come unico prodotto di reazione acqua pura. È un gas incolore, inodore, non velenoso, estremamente volatile e leggero; allo stato elementare è assai raro sulla Terra mentre è molto diffuso sotto forma di composti e può quindi essere prodotto a partire da diverse fonti.

Le principali **utilizzazioni** previste in futuro per l'**idrogeno** sono l'impiego come combustibile per:

- la **generazione di energia elettrica:** l'ENEL a Fusina ha attivato una centrale termoelettrica che usa come combustibile l'idrogeno. L'impianto ha una potenza di 16 MW totali. Il turbogas è equipaggiato con una camera di combustione sviluppata per essere alimentata con idrogeno e l'energia termica liberata dalla combustione viene convertita in energia elettrica nella turbina a gas, sviluppando una potenza di circa 12 MW; gli altri 4 MW si ottengono sfruttando il calore presente nei fumi di scarico per produrre vapore ad alta temperatura che viene inviato alla turbina a vapore;
- **i mezzi di trasporto:** il vantaggio delle vetture alimentate a idrogeno deriva dal fatto che evita le emissioni di CO_2 tramite la **cella a combustibile:** dispositivo elettrochimico che converte direttamente l'energia di un combustibile in elettricità e calore senza passare attraverso cicli termici; funziona come una batteria ma consuma sostanze provenienti dall'esterno ed è quindi in grado di funzionare senza interruzioni. La struttura di una

cella a combustibile è rappresentata in figura A: il primo strato è l'anodo, il secondo è l'elettrolita (acido fosforico, carbonati fusi, ossidi solidi ceramici, ecc.) e il terzo il catodo. I due reagenti non entrano in contatto direttamente fra loro, ma attraverso la mediazione dell'elettrolita, producendo energia elettrica finché la cella a combustibile viene alimentata. Il processo è

Figura A



l'inverso di quello dell'elettrolisi nel quale l'acqua, con l'impiego di energia elettrica, viene decomposta nei suoi componenti gassosi H_2 e O_2 . Una cella a combustibile inverte questo processo e unisce i due componenti producendo acqua. Nel processo di ricomposizione dell'acqua si usa normalmente l'aria e non l'ossigeno puro che, pertanto, non deve essere immagazzinato.

L'**autoaccensione** è l'accensione spontanea della miscela tonante riscaldata oltre il proprio limite di infiammabilità per effetto della eccessiva compressione cui è stata sottoposta entro il cilindro (prima della scintilla della candela), il che costituisce spesso un **anticipo** troppo sensibile che dà origine a forti contraccolpi. La normale fase di combustione in un motore a scoppio non è istantanea ma quando il rapporto di compressione supera un certo limite, la **combustione si sviluppa contemporaneamente** in tutti i punti della massa gassosa dando origine a una **detonazione violenta** e tanto più dannosa quanto maggiore è l'anticipo all'accensione. Un'altra irregolarità di funzionamento è la **preaccensione** causata dall'accensione anticipata in seguito all'irradiazione sviluppata da residui carboniosi presenti nel cilindro o da qualche parte di esso particolarmente surriscaldati. L'indice che permette di valutare il grado di indetonabilità di un combustibile per motori a scoppio è il **numero di ottano n**; queste considerazioni perdono di valore se applicate ai motori diesel (dove si parla di **numero di cetano n**).

La caratteristica più importante di un motore endotermico è la potenza che esso può erogare che è funzione del regime di rotazione. **Aumentando il regime di rotazione, si incrementano tutti i fattori negativi che contrastano la penetrazione del fluido nel cilindro** per cui il rendimento volumetrico diminuisce in misura sensibile al crescere della velocità di rotazione. Ne segue che la potenza fornita dal

motore si incrementa sempre meno, raggiunge un valore massimo e poi comincia a decrescere fino ad annullarsi. Di ogni motore si può tracciare la **curva caratteristica della potenza** riportando sulle ascisse di un sistema cartesiano i valori di n (numero di giri) e sulle ordinate i corrispondenti valori della potenza fornita, in condizioni di massima ammissione. Il momento (o coppia motrice) utilizzabile sull'asse di una macchina si esprime con la relazione: $M_{(N \cdot m)} = 9549,3 \cdot P_{(kW)} / n$ (19.1). Essa ci consente di tracciare la curva caratteristica della coppia motrice ai vari regimi di rotazione che presenta un punto di massimo che corrisponde però a un valore di n diverso da quello della potenza erogata. Per un esame più completo delle caratteristiche del motore si usa riportare sullo stesso grafico (figura B) anche la curva di variazione del consumo specifico c_s che si presenta con la concavità verso l'alto. Per regimi di rotazione compresi nel tratto discendente della curva di coppia, il motore possiede caratteristiche di **auto-regolazione** che ne esaltano le possibilità di impiego quando sono possibili continue variazioni di carico.

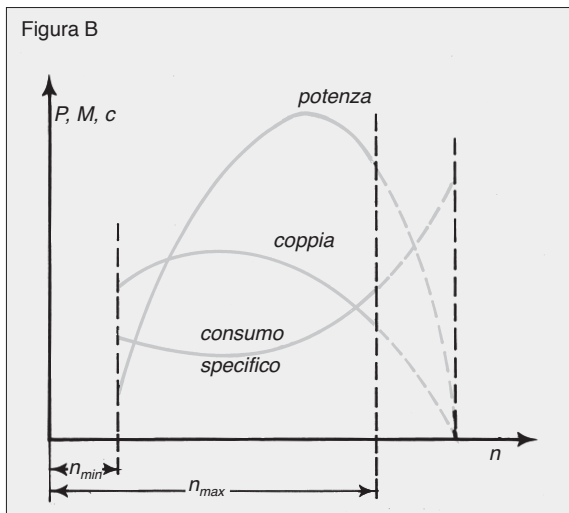
Vediamo alcuni **particolari costruttivi**:

- **i motori a scoppio**, impiegati nel campo delle piccole e medie potenze, hanno i cilindri che solo in casi eccezionali arrivano ai 200 mm; gli **stantuffi** sono leggeri per ridurre le forze d'inerzia; l'articolazione diretta della **biella** sullo spinotto senza l'interposizione di un'asta rigida e della testa a croce rende il motore meno sviluppato in altezza e più leggero l'equipaggio mobile, con il vantaggio di **forze d'inerzia modeste**; i **cilindri** assumono sagome diverse in relazione al sistema di distribuzione (con *testa a martello* o *a L*); il **carter** del motore è l'involucro che racchiude nel suo interno il manovellismo con relativi supporti; i **supporti** di estremità sono alloggiati in corrispondenza delle testate (anteriore e posteriore) del carter; l'**albero a gomiti** è sempre in acciaio fucinato ad alto carico di rottura;

- **i motori diesel** di piccola e media potenza hanno soltanto maggiori spessori dovuti alle più alte sollecitazioni meccaniche cui sono sottoposti; nei grandi diesel i **cilindri**, fusi in ghisa, sono sempre concamerati per la circolazione dell'acqua di raffreddamento; le **testate** che chiudono la parte superiore del cilindro devono essere efficacemente raffreddate, pur dando alloggio a cinque valvole scarico; la **biella non si articola direttamente sullo stantuffo, ma sulla testa a croce**; l'**asta**, costruita in acciaio fucinato, ha sezione circolare ed è spesso avvolta, nella sua parte superiore, da una guaina metallica che la protegge dai prodotti della combustione; la **biella** e l'**albero a gomiti** non differiscono sostanzialmente da quelli di una motrice a vapore; gli **stantuffi** sono quasi sempre refrigerati internamente con acqua o con olio lubrificante; date le notevoli pressioni che si sviluppano nell'interno del cilindro, gli alloggiamenti per le **fascie elastiche** sono in numero maggiore rispetto ai motori a scoppio.

Per l'**avviamento ad aria** dei grandi motori diesel sono necessari due contenitori il cui volume sia sufficiente ad assicurare un certo numero di avviamenti consecutivi indipendentemente dall'azione di reintegro operata dai compressori. Essi impiegano come combustibile nafta densa la cui accensione, a motore freddo, è piuttosto difficoltosa; **nella fase di avviamento si opera con gasolio leggero**, passando al combustibile denso (preriscaldato a $80^\circ \div 90^\circ$ per aumentarne la fluidità) quando i cilindri hanno assunto una temperatura prossima a quella di normale esercizio. La **condotta** dei motori a scoppio di piccola e media potenza non richiedono particolare sorveglianza; per la condotta dei grandi motori diesel, l'impianto di lubrificazione, di raffreddamento e i premistoppa sui tubi telescopici che adducono il liquido refrigerante alla sommità dello stantuffo devono essere controllati periodicamente. Inoltre, **l'operatore deve accertarsi del regolare funzionamento dei vari cilindri attraverso la misurazione delle temperature dei gas di scarico** (grandi differenze fra un cilindro e l'altro sono indice di cattivo funzionamento di qualche polverizzatore). Per variare la potenza del motore, non essendo possibile modificare la cilindrata V e dovendo in genere mantenere costante il numero di giri al minuto n , non rimane altro che agire sulla pressione media p_{me} . **Nei motori a scoppio** si riduce la miscela mediante chiusura parziale della valvola a farfalla posta nel carburatore.

La combustione provoca l'emissione di CO_2 , NO_x , CO , HC , particolato sospeso o polveri sottili e ciò dipende da: rapporto aria-combustibile, valori degli angoli di anticipo, forma della camera di combustione, contropressione allo scarico e temperatura di combustione. In un motore diesel le emissioni di CO sono inferiori rispetto a quelle di un motore a scoppio; la formazione degli NO_x viene ridotta me-



dante l'iniezione tipo multijet e con sistemi di ricircolo del gas di scarico (EGR). Per abbattere il particolato sono necessari sistemi di filtraggio posti lungo il tubo di scarico che trattengono le particelle carboniose contenute nei gas di scarico; le marmitte catalitiche (**ossidanti, riducenti o trivalenti**) contengono dei catalizzatori che accelerano le reazioni chimiche necessarie a convertire i composti da inquinanti in innocui. Il tempo impiegato dalla marmitta per raggiungere la temperatura in cui inizia a

funzionare (250°C) è chiamato tempo di light-off. Nei filtri antiparticolato, usati per i motori diesel, le particelle di particolato vengono intrappolate. Tale accumulo ne provoca, dopo 500 km il progressivo intasamento. La *rigenerazione* consiste nel bruciare periodicamente il particolato accumulato che, in presenza di ossigeno, brucia a 550 °C. La rigenerazione viene fatta utilizzando additivi al gasolio (per i FAP) o senza additivo (per i DPF) innalzando la temperatura dei gas di scarico fino a 600 °C.