

Un motore a quattro tempi si caratterizza per un ciclo di lavoro suddivisibile in quattro diverse fasi: l'aspirazione, la compressione, lo scoppio-espansione e lo scarico.

La fase di scarico inizia nel momento in cui si apre la valvola di scarico e, dal cilindro, fuoriescono spontaneamente i gas esausti. Infatti, l'elevata pressione e calore che ci sono nella camera di scoppio, danno modo ai prodotti della combustione di defluire naturalmente dal cilindro verso l'ambiente "esterno".

Una piccola porzione di essi, invece, per mettersi in marcia verso l'ambiente esterno, dovrà attendere la "spinta" del pistone che viaggia a forte velocità in direzione del punto morto superiore. L'intera colonna di gas che si è appena formata inizia così il lungo tragitto nel tubo che la porterà verso l'ambiente esterno. Se non si verificassero altri fenomeni, questa massa fluida arriverebbe compatta ed indisturbata a destinazione; ma non è così!

Quando si apre la valvola di scarico, ha contemporaneamente inizio anche un altro fenomeno: viene generata un'onda di pressione che inizia il suo viaggio nella stessa direzione dei gas, ma la sua velocità è pari a quella del suono!!! Quest'ultima dunque arriva alla fine del tubo di scarico prima della massa gassosa e, trovandosi di fronte l'ambiente esterno (che determina un salto di volume e di pressione notevole), torna indietro cambiando di segno e trasformandosi in depressione (cioè una pressione che viaggia in senso inverso)! Come se fosse una pallina che rimbalza da una parte all'altra di un tubo chiuso alle estremità, l'onda di pressione inizia a fare avanti e indietro attraversando più volte la colonna di gas prima che questa riesca ad uscire, ma perdendo energia e velocità.

I gas combusti dunque viaggiano sempre e solo in direzione del terminale di scarico, ma la colonna che formano simula il movimento di una fisarmonica che si espande o si compatta a seconda del livello di pressione che incontra. Questo effetto è generato dalle onde che si muovono in entrambe le direzioni (ma con velocità diverse) all'interno del tubo. Se la colonna attraversa una depressione (cioè una pressione che si muove verso i cilindri) i gas si diradano, accade il contrario se l'onda sonora si muove nella direzione opposta accelerando il loro moto. Una cosa a questo punto dovrebbe essere chiara: più il percorso che porta dalla valvola all'ambiente esterno è lungo, più tempo impiegherà l'onda di pressione a tornare indietro. Allo stesso tempo essa perderà molta energia nel corso dei "rimbalzi" causando una attenuazione dei suoi effetti. Quindi in un tubo infinitamente lungo non si avrebbero fenomeni di riflessione delle onde. Al contrario, in un tubo corto, le variazioni di pressione si sentiranno moltissimo!

Tutto quello che abbiamo detto sinora ipotizza che non ci siano variazioni di volume nel tubo (senza silenziatori o biforcazioni). Inoltre fino a questo momento è avvenuta una sola fase di scarico, del tutto teorica, perché nella realtà queste colonne di fluidi vengono emesse dal motore di continuo!

A complicare la teoria ci pensa ancora una volta la valvola di scarico, che si apre ciclicamente, immettendo nuovi gas e soprattutto nuove onde di pressione che si scontrano con quelle che già si muovono nelle tubazioni; Questi fenomeni accadono molto in fretta, basti pensare che quando il motore gira a 6000 giri/minuto, ogni 20 millisecondi si apre la valvola di scarico per far fuoriuscire una nuova ondata di gas combusti e un'altra famigerata onda sonora di pressione!

Se prima c'era un po' di "traffico" nel tubo, adesso la somma algebrica di onde di pressione e depressione, che viaggiano con direzioni opposte, porta a veri e propri massimi e minimi di pressione.

Per ottenere il massimo rendimento volumetrico del sistema, si deve verificare la condizione di depressione a ridosso della valvola di scarico e di pressione su quella di aspirazione. Il motore in questo caso non fatica ad ingurgitare la miscela aria combustibile e viene anche agevolato nell'espellere i gas esausti. Nel caso opposto invece, pur continuando a funzionare, offrirebbe un rendimento davvero modesto, sotto forma di scarso vigore e lentezza di

reazione nel prendere giri.

Allungando o accorciando il tubo dunque, si può variare "l'accordatura" del motore. Fino ad ora però abbiamo utilizzato come esempio uno scarico inteso come un tubo dritto. Nella realtà pratica, ogni volta che il tubo di scarico subisce delle variazioni di volume (all'interno di un silenziatore o dove confluiscono le tubazioni di cilindri diversi), vengono generate nuove onde di ritorno; proprio come avviene nel salto di pressione causato dall'ambiente esterno. L'intensità, il ritmo ed il verso con cui esse si propagano però dipende dal tipo di "ostacolo" che incontrano, quindi si può variare la risposta del sistema anche intervenendo in modo diverso dal semplice allungamento o accorciamento del tubo di scarico. In tubazioni strette e lunghe si verificano fenomeni tali che rendono migliore l'erogazione a bassi e medi regimi di rotazione (pulsazioni lunghe), mentre per avere coppia e potenza ad alti regimi si impiegano tubazioni corte e di dimensioni più generose (che originano pulsazioni più brevi). E questo è vero sia per il lato aspirazione, sia per quello di scarico. A questo punto è necessario sottolineare un concetto: le onde di pressione non devono essere considerate dannose per un propulsore; ad esse, infatti, si deve rendere il merito del "risucchio" allo scarico (che migliora la respirazione) altrimenti impossibile. Il problema semmai è quello di verificare come si può fare ad "addomesticarle", sfruttandole al meglio in un range di utilizzo più esteso possibile. Per quanto possa sembrare strano, infatti, un motore dotato di opportuni cambiamenti di sezione del tubo di scarico o di silenziatori, offre maggior potenza di uno dotato solamente di un breve tubo e lo scarico libero!

Per quanto riguarda lo scarico, è necessario che in prossimità della valvola di scarico si verifichi una depressione in grado di "risucchiare" i gas combusti nella tubazione che porta all'ambiente esterno. Al contrario, dal lato aspirazione, una elevata sovrappressione contribuisce a "spingere" quanto più possibile la miscela aria/benzina nel cilindro. Se si verificano entrambi questi fenomeni, "l'accordatura" del motore risulta perfetta, garantendo le massime performance che può offrire il propulsore.

Fino ad ora abbiamo parlato di un sistema di scarico teorico applicato ad un monocilindrico. Per parlare dei collettori di scarico invece faremo riferimento ad un pluricilindrico ed in particolare utilizzeremo come esempio un sistema a quattro cilindri.

Partiamo da un sistema di collettori 4 in 1, in cui i quattro collettori primari convergono in un'unica giunzione. In questo caso la giunzione in cui convergono i gas di scarico introduce una riflessione come quella che si ha quando il tubo termina verso l'ambiente esterno; quindi un'onda sonica di depressione risale verso il condotto in direzione della valvola di scarico che l'ha generata! L'intensità di questo fenomeno dipende ovviamente da come è realizzata questa giunzione e più in generale da quanto essa è voluminosa.

Importante è anche la lunghezza del collettore primario (il condotto prima della giunzione). Più questo è corto, migliore sarà la risposta del motore a basso numero di giri, mentre agli alti regimi di rotazione si perderà sicuramente qualcosa in termini di potenza massima erogata. Per questo motivo, ai bassi regimi di rotazione l'architettura 4 in 1 si rivela carente di coppia rispetto a quella 4 in 2 in 1. Quest'ultima ha le due prime giunzioni più vicine al propulsore che producono un'onda "lunga" ed efficace ai medi regimi di rotazione, mentre la terza giunzione (più lontana dal cilindro) "dovrebbe" invece influire ai regimi alti (ma il suo effetto è comunque modesto).

Premesso che ogni soluzione deve essere comunque ben studiata e realizzata, di solito quello che si perde in termini di coppia e regolarità di erogazione lo si ritrova poi agli alti regimi di rotazione sotto forma di potenza massima. Questo concetto è stato più volte espresso: "è impossibile accordare il propulsore perfettamente a tutti i regimi di rotazione". Se il propulsore deve avere buone doti di ripresa, di solito si consiglia il 4 in 2 in 1, se al contrario si desidera incrementare la potenza massima, allora il 4 in 1 è di norma la soluzione più soddisfacente.

Visto il traffico di onde di pressione positive o negative che siano, cosa accade quando andiamo a silenziare lo scarico? Premesso che ne esistono tipologie diverse, si cerca sempre di abbattere la rumorosità (con il passare del tempo le normative sono sempre più severe!) senza ostacolare troppo il passaggio dei gas (l'impedimento viene normalmente definito "contropressione allo scarico").

La contropressione (exhaust back pressure) è la resistenza fluidodinamica che ostacola l'efflusso dei gas di scarico dal motore verso l'atmosfera. E' causata dalla resistenza al moto nelle tubazioni dei condotti di scarico, dalla presenza al loro interno di zone di confluenza tra gli scarichi dei vari cilindri (giunzioni) e ovviamente in larga misura dal silenziatore nel terminale. La contropressione può essere anche negativa, come abbiamo già visto, agevolando l'estrazione dei gas combusti sotto forma di depressione.

Anche nel caso del terminale di scarico (così come accade per i silenziatori "centrali" e per i catalizzatori) una minore contropressione agevola la potenza massima agli alti regimi penalizzando l'erogazione a basso numero di giri.

In generale i silenziatori si realizzano con tre metodi, anche se non mancano esempi di convivenza tra soluzioni diverse. Quello "A" che frutta l'assorbimento; quello "B", detto a riflessione e quello "C" a risonatore. La tipologia ad assorbimento "A" è composta da un unico tubo forato, che percorre tutta la lunghezza del silenziatore, circondato da materiale fonoassorbente che riempie tutto il restante spazio a disposizione nella camera. Le onde sonore vengono "assorbite" dal rivestimento (di solito lana di basalto, a volte combinata con fini maglie d'acciaio) con un'efficacia che dipende dalla geometria dei fori, dalla lunghezza e diametro del tubo ed ovviamente dalla densità del materiale fonoassorbente impiegato! Questa tipologia di silenziatori è largamente impiegata: sia perché provoca uno smorzamento su larga banda, particolarmente efficace alle frequenze più alte (filtro passa-basso), sia perché induce modesti valori di contropressione allo scarico (sicuramente inferiori a quelli che si ottengono con altre soluzioni). Da quest'ultima considerazione si evince per quale motivo è praticamente l'unica ad essere impiegata in ambito sportivo! Il "B" si basa sia sulla riflessione delle onde sonore rispetto alla sorgente, sia sulla moltiplicazione dei "punti sonori" che introducono delle interferenze: più fori ci sono, maggiormente se ne sentono gli effetti della riduzione di rumore. Di solito questa tipologia di silenziatori è formata da più camere collegate tra loro e tubi intermedi che creano salti di sezione, rinvii e risonanze (in serie e in derivazione). Si ottiene così un efficace silenziamento, specialmente per quanto riguarda le basse frequenze.

Le marmitte a risonatore "C" invece sfruttano per lo più tubi forati, chiusi in parte o totalmente all'estremità. Lunghezza e numero dei tubi, nonché tipo di foratura, creano interferenze tra i punti sonori e turbolenze dei gas di scarico che producono un filtraggio esteso su larga banda. In pratica il silenziatore si comporta come uno strumento musicale le cui timbriche ed intensità possono essere variate modificando geometrie e materiali impiegati. Nulla vieta che i tre diversi tipi di silenziatori convivano per restare entro i limiti imposti dalla legge o per migliorare sia il rendimento, sia il sound del propulsore.