

LO SCARICO a espansione

UN TUBO A CONO DIVERGENTE CHIUSO DA UN CONO CONVERGENTE. ATTORNO A QUESTA TIPOLOGIA DI SCARICO SI È SVILUPPATA DA META' ANNI CINQUANTA TUTTA LA STORIA DEL DUE TEMPI "A PULSAZIONE DI PRESSIONE"



Inizio un nuovo articolo facendo riferimento una volta di più a quel grande personaggio che fu Walter Kaaden. Già lo conoscete, vi ho spiegato che fu determinante per lo sviluppo del motore due tempi poiché seppe raccogliere l'idea dell'aspirazione disco rotante e perché soprattutto seppe quadrare il cerchio inventando quel magico scarico a espansione che da lui in poi ha fatto la fortuna di questo motore. Kaaden (1919-1996) dopo la Seconda Guerra quando poté dedicarsi alla sua passione che erano le moto, fece riferimento alla tecnologia del pulse jet ex VI, realizzò uno scarico a cono divergente chiuso da un controcono e lo applicò con successo alla sua DKW. La cosa gli tornò utile per farsi notare dall'azienda che in DDR governava la maggiore produzione auto moto e gli valse la responsabilità delle corse della neonata MZ. Leggenda narra che l'utilità di quello scarico dovette convincere per primi i vertici aziendali, e non gli fu facile, dovette dare dimostrazione della validità del sistema di fronte al banco dinametrico. L'espansione dava anche un aspetto nuovo all'estetica della moto e un cambiamento tanto importante a metà anni 50 era tutto da metabolizzare.

► Ci fu anche il compressore

Il problema sul tavolo dei tecnici del 2T era quello di sempre, aumentare le prestazioni di un motore che come sappiamo tutti in una certa fase del suo funzionamento, cioè quando il pistone percorre la corsa di compressione, chiude lo scarico dopo che la miscela fresca è stata

compata nel cilindro, in altre parole ha un periodo durante il quale si registra una perdita della carica attraverso lo scarico.

Una soluzione individuata antecedentemente fu la sovralimentazione (realizzata con un secondo pistone o con un pistone a due diametri) per pompare la miscela esplosiva in camera di combustione forzando il fattore volume, questo peraltro non cancellava il problema originale, c'erano più prestazioni ma le perdite rimanevano, anche con la pressione raddoppiata, mandavi e perdevi, il compressore non fu risolutivo e aggiungeva pure una discreta complicazione meccanica.

► Cono e controcono

Vorrei ora far notare come il due tempi dell'epoca lavorasse come una pompa, richiamava aria-benzina sotto il pistone e la pompava (ecco la definizione) poi in camera di combustione attraverso i travasi col risultato di una curva prestazionale molto piatta e una crescita di prestazioni proporzionale ai giri.

Un primo pensiero vincente fu di migliorare il due tempi con uno scarico a megafono utile a ottenere una depressione nel cilindro in grado di migliorare il lavaggio (travaso dei gas freschi da sotto a sopra), dopodiché l'idea di Kaaden di creare una pressione contraria in un preciso momento collocando una strozzatura alla fine del cono divergente rappresentò la grande scoperta. Le pareti del controcono impediscono ai gas di andarsene immediatamente liberi nell'atmosfera, prima di imboc-

care il foro di uscita vanno a impattare contro le pareti del cono convergente determinando dentro lo scarico dei picchi di pressione che lo percorrono a ritroso fino al pistone: questi, opportunamente fasati, sono capaci di far rientrare nel cilindro o di bloccare quella minima quantità di gas freschi che diversamente se ne andrebbero liberi tra la chiusura dei travasi e la successiva chiusura dello scarico. Questa pressione contraria creata dal controcono e che ritorna verso il cilindro è creata chiaramente dalla combustione precedente e anche da quella di due o tre cicli prima.

► Dimensioni ed efficacia

La velocità di propagazione delle onde dipende dalla forma dello scarico, dalla temperatura e da tanti altri fattori (diametro grande o piccolo dello scarico determinano una superficie più o meno ampia esposta all'aria) ma si può dire che vale circa 600 metri al secondo; l'onda che arriva sul controcono, ritorna e deve arrivare alla bocca del cilindro prima che il pistone chiuda per la compressione successiva in tempo utile a ributtare dentro i gas in uscita. Quella velocità è il segreto di tutto il sistema, ogni millimetro dello scarico che di per sé è un oggetto semplice e poco costoso, ha la sua funzione, diametri e sviluppo sono importanti come lo è il diametro del foro di uscita alla fine del controcono che serve a calibrare le temperature poiché più è piccolo e più lo scarico si scalda in quanto lì i gas transitano con una velocità molto elevata che fa scaldare anche questa parte. Nell'espansione c'è una risonanza che va sul controcono e ritorna: un controcono corto rende adatta l'espansione a un range di giri ristretto, un controcono lungo definisce un campo di utilizzo utile più ampio. Entra in gioco un problema di diametro perché più è grande più possiamo fare un controcono lungo, però anche lì c'è un limite, infatti quando parliamo di un motore 125 si ragiona di diametri di "pancia" compresi da 90 a 105-110 millimetri, se è più grande c'è più volume quindi si ot-

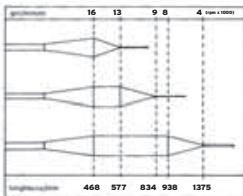
le collaborazioni speciali di *Motocross*

* commenti e domande: janwitteveen@motocrossrivista.it

JANWITTEVEEN NELLA SUA VITA HA PROGETTATO MOTORI E MOTO



Dimensioni
Espansioni in proporzione:
 dall'alto un tubo da 470 mm
 (misurati alla fine del cono divergente)
 per un cinquantino da 13.000-16.000
 giri; per un 125 cross da 9.000-13.000
 giri, 577 mm; per un duemmezzo
 cross da 4.000-8.000 giri, 938 mm.



[Cono e **CONTROCONO**]

I ragionamenti di Walter Kaaden attorno alle pulsazioni di pressione dentro lo scarico diedero nuova vita al motore 2T. Con un tubo conformato a cono e controcono la pressione dei gas in uscita rimbalzano verso il cilindro ostacolando la possibile perdita di gas freschi nel periodo tra la chiusura dei travasi e la successiva chiusura dello scarico.

tiene più coppia ma il motore diventa scorbuto perché i coni diventano angolati, c'è una amplitudine della risposta molto grande, il complessivo è più delicato perché la superficie di raffreddamento è molto elevata e così via.

► **Cilindro scarico e amplitudine di pressione**

Sulla definizione dimensionale dell'espansione si innestano molte variabili, una semplice ad esempio dice che

quando la luce nel cilindro è molto larga si ha una notevole "amplitudine" dell'energia che viene liberata in maniera forte ma breve, al contrario quando la luce è stretta e alta si ha una amplitudine minore ma di maggiore durata. L'amplitudine, in sostanza misura l'intensità dell'onda dei gas in uscita dal cilindro che è una delle variabili cui è sensibile l'espansione.

Nel lavoro dell'espansione poi bisogna distinguere tra l'energia dell'onda e il gas in se stesso, e qui è un po'

difficile, per certo possiamo pensare che quando il sistema funziona bene abbiamo una minima quantità di gas combusti che viene respinta nel cilindro e mandata di nuovo in combustione, non puoi fare in modo che a qualsiasi numero di giri vi sia un equilibrio perfetto.

► **Ondate successive**

L'onda di pressione di cui abbiamo parlato finora è la prima generata dalla combustione precedente, ve ne sono

CHE, TRA INDIVIDUALI E COSTRUTTORI, HANNO **VINTO 40 TITOLI MONDIALI**



M TECH IL TUBO A CONO E CONTROCONO

IOPENSO

CHE...

“L'espansione fu un pensiero sviluppato in Germania. In Sachs nel 1970 quando vi arrivai io, trovai dei lavori di un tecnico dell'Est fuggito all'ovest. Ernst Ansgor (decaduto si diceva in un modo strano come fosse stato ucciso) che dopo Kaaden aveva fatto molti studi sugli scarichi 2T. Sachs era interessata ai cinquantini e i suoi Ansgor fece dei test anche con un tubo lungo 50 metri misurando il misurabile - temperatura e pressione - su tutto lo sviluppo; lo accorcio mezzo metro per volta rilevando le stesse informazioni fino a produrre una quantità di dati. Quei dati insieme a quelli di altri settori della ricerca Sachs erano già disponibili come risorsa grezza per chi come me lavorava sui motori moto. Era una grande azienda che dedicava grandi risorse allo sviluppo, aveva sale prova climatizzate, dotate anche di sistemi per l'analisi dei gas che ancora oggi rappresenterebbero una rarità. Credo che una banca dati come quella Sachs sia stata equagliata in Europa solo da Aprilia.”

poi una seconda e una terza, potrebbe arrivare anche prima o dopo quindi riflettersi sul pistone e tornare indietro per rimbalzare con una pressione minore ma con una energia abbastanza importante, e questa è la caratteristica della seconda ondata che magari può essere riutilizzata per lo stesso concetto della barriera ai gas in uscita mentre il pistone sta per chiudere. L'esperienza ci insegna che è utile tenere conto di tre ondate (il percorso cilindro-controno-cilindro rappresenta una ondata), la prima più efficace, la seconda sempre molto importante e la terza un po' meno. Oltre quello non è così interessante andare, a meno che dentro la curva di coppia del motore non vi sia un certo buco in una certa fase che va analizzato per verificare magari la presenza di ondate contrarie che si eliminano a vicenda oppure una sovrapposizione tale da creare questo fenomeno.

► Forme e segreti

Uno dei trucchi per gestire le pulsazioni di pressione è un cambiamento dell'angolo del cono divergente per accelerare o frenare la propagazione delle onde (allarghi e acceleri, ma se allarghi troppo hai l'effetto contrario), ottenendo così un comportamento di supporto al controcono come se fosse più lungo: faccio funzionare ad esempio il controcono da 9000 a 12000 giri poi faccio lavorare il cono divergente andando a intervenire sull'ampiezza rendendola più forte. Posso fare in modo che

la seconda ondata arrivi sotto o sopra come range rispetto al funzionamento del controcono per aiutare il cono divergente nelle fase dai 12 ai 13000 o 14000 giri. I segreti in realtà sono molti, i fattori in gioco e la loro variabilità è molto elevata, in testa a tutto c'è la temperatura però se cambio l'antico o la carburazione ho una combustione più o meno perfetta, e più è perfetta più è calda; da qui automaticamente una ampiezza più elevata ma anche una temperatura dei gas in ingresso nello scarico più elevata, quindi uno scarico più caldo e da lì una velocità dell'onda superiore. Quando è il contrario il motore va meno, ecco perché si dice che è freddo, che la carburazione non è buona etc. prima si sistemano le temperature dopodiché si vede il rendimento giusto e meno giusto.

Altri fattori in gioco sono lo spessore della lamiera che se è sottile si scalda prima, poi il volume perché più è grande più c'è superficie e più raffredda facilmente mentre più è piccolo e meno è sensibile. Anche i materiali hanno il loro ruolo, di base si utilizza un acciaio ST 37 con un po' di piombo che è facile da modellare o da deformare nello stampo. Per prestazioni superiori si va su materiali come Inconel oppure titanio che è un buon materiale perché abbastanza resistente, leggero (quadragni anche mezzo chilo) e prestazionalmente vantaggioso perché caratterizzato da uno scambio termico molto veloce utile ad esempio a non perdere prestazione tra una cambiata e l'altra.

Q & A Questions&Answers

❑ I cono di espansione è bene abbiano sempre una geometria perfetta?

Dipende dal lay-out di motore. Se il motore è già esistente, con lo scarico si prova a cercare qualcosa di meglio quindi la forma discende da questa ricerca.

❑ Meglio lo scarico con traversino o le tre luci?

La luce grande con traversino (tipo Honda 125) permette una apertura immediatamente grande quindi una ampiezza elevata; serve un controcono lungo. Lo scarico a tre luci (lo brevetai mentre lavoravo in Sachs; mi diedero 400 marchi ma fu l'affare peggiore della mia vita perché rivelai il concetto a tutti) permette un controcono un po' più corto.

❑ C'è analogia tra l'idea della risonanza dell'espansione e gli strumenti musicali?

Se consideri una tromba e una tuba, dimensionalmente più grande, la prima è qualcosa che va bene per una piccola cilindrata, l'altra per una grossa cilindrata. In teoria il cono a divergenza progressiva degli strumenti musicali andrebbe meglio, di fatto rispetto a un cono geometrico non cambia granché. Negli strumenti musicali dove cerchi la migliore propagazione dell'onda, il cono parte con una angolazione minima poi divarica; è utile a tenere una velocità costante.

❑ Espansione avvolta a chiocciola tipo Ossa enduro: lavoro difficile?

Diciamo che quella moto non mi ha stupito. Fattibilissima, nessuno sconvolgimento; però più le forme sono complesse più è difficile fare i prototipi e fare sviluppo su tubi

di scarico. Quando le forme sono complicate, definisci due o tre tubi e li provi, poi vai a lavorare sul motore adeguandolo allo scarico.

❑ Quanto è calcolabile una espansione?

Se conosci i dati del motore e se sei bravo, al 90-95%. Magari non riesci a calcolare il livello della prestazione, però sai dove c'è il campo di utilizzazione, dove la prestazione massima, dove la coppia massima, quanti giri fa. Il tutto ovviamente è riferito allo stato dell'arte, se vuoi andare oltre entri in un'area dove non hai dei punti di riferimento.

❑ Quando un tubo di scarico è "delicato" da gestire?

Un tubo con diametro grande è più critico rispetto a uno piccolo. Poi quando le condizioni di lavoro (temperatura) sono maggiormente variabili.

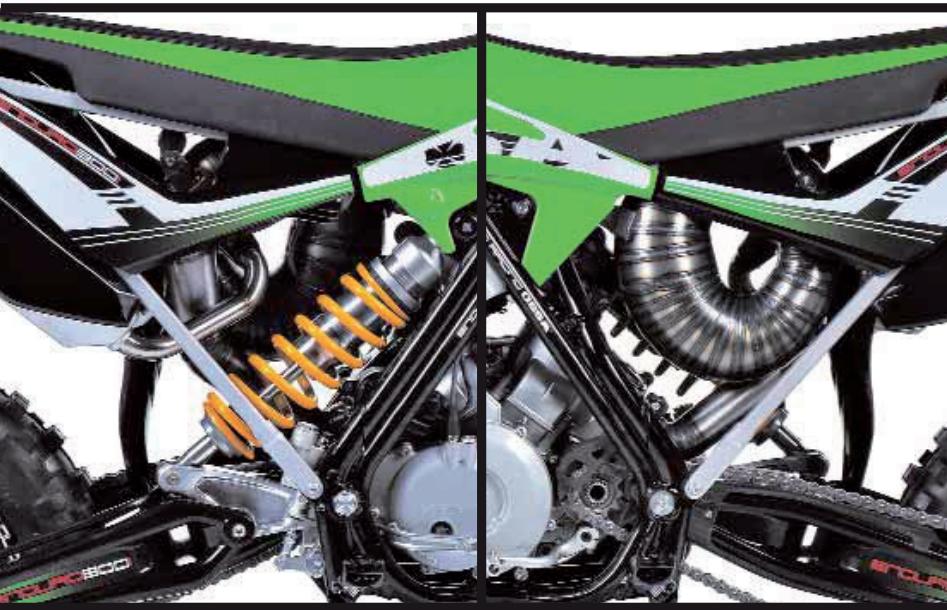
❑ Come si verificano sperimentalmente le temperature dei gas dentro lo scarico?

Meglio non interferire col "lavoro" dell'espansione e stare con la sonda un millimetro dentro e non di più.

Il problema è che la sonda deve "vivere" con l'espansione, quindi devi avere spessori e masse che non ne alterino le condizioni: in totale una attività non semplicissima a causa ad esempio delle vibrazioni. Problematica moderna, perché una volta queste misurazioni non si facevano...

❑ Spessore delle lamiere: c'è un valore ideale?

Ideale potrebbe essere sottile, che sottintende tutta una serie di condizioni otti-



mali. Che dipendono dalla sagoma, dalle vibrazioni, dallo scambio termico etc.: parti considerando uno spessore di 0,5 mm e poi ci sono problemi di vibrazioni e fai 0,8 o anche 1 mm. Dove hai problemi metti uno spessore grande, dove non li hai metti quello piccolo.

E gli spessori grandi sono utili all'abbattimento del rumore quindi devi verificare anche quel parametro...

Si fanno gli spessori differenziati?

Nelle espansioni fatte a mano si fa normalmente. Ad esempio dove ci sono gli ancoraggi per le molle o deve metti un sostegno.

L'espansione a spicchi è sinonimo di maggior resa?

No assolutamente. Le usi per i prototipi ed è un sistema che rende difficile farne una uguale all'altra.

Normalmente fai sviluppo con un tubo dritto per vedere come reagisce il motore, poi inizi a sagomare e usi magari questa tecnica.

Espansione cromata: è un vantaggio?

Ogni cosa che si applica può disturbare lo scambio termico quindi secondo me non è mai migliorativa. Poi bisogna fare dei distinguo, la cromatura è un protettivo contro la ruggine.

Attenzione però che non si tratti di Inconel che ha un colore simile. L'Inconel è un po' più fragile, è molto resistente al calore e trasmette una risonanza molto forte; però è anche molto difficile da usare, è duro.

Prestazione: quanto vale oggi l'espansione?

Se penso a un motore 125 da velocità da 50 cavalli, senza espansione e aggiustandolo un po' penso che ne potrebbe dare 25, magari 28. Ecco perché il 21 Oggi non è più un motore pompa ma un motore a pulsazioni di pressione. Lo scarico aumenta la portata del lavaggio: la miscela fresca transita come massimo a 300 metri al secondo, i gas combusti escono dallo scarico a 600. Per dare prestazioni dobbiamo sempre per prima cosa portare miscela (o aria) in camera di combustione; poi una volta sopra, dobbiamo evitare che se ne vada fuori.

Risuonatori: che effetto hanno?

Mi è capitato anni fa di fare un risuonatore fisso sull'uscita del controcono sul tubo finale utile a riempire eventuali abbassamenti di coppia a bassi regimi: se hai un controcono che lavora, che so, da 7000 giri, capita di avere dei buchi sotto e questa è una buona soluzione per andare a riempirlo.

I risuonatori cambiano i volumi dello scarico. Alcune delle prime valvole sullo scarico aprivano una camera di risonanza col risultato di un vantaggio a camera aperta all'inizio del range di lavoro del controcono. Un po' come un tubo che si avvicina e si allontana dal cilindro, qualcuno l'ha fatto, più ti allontani più hai forza ai bassi.

Silenziatore: meglio senza?

No, gestisci meglio il motore. Ai tempi della MZ non si usava, il rumore non veniva misurato. Poi negli anni '70 è diventato obbligatorio e venne fatto di tipo ad assorbimento, che per non perdere prestazioni veniva dimensionato in maniera adeguata. Agli effetti del rendimento del motore la presenza del silenziatore è positiva, si è visto che certi profili del silenziatore erano utili a rinforzare il motore in particolare a basso regime di giri.

LA FORMULA DELL'ESPANSIONE

La progettazione dell'espansione 2T considera l'esigenza di produrre dei valori di pressione elevati all'uscita dal cilindro da quando il pistone chiude i travasi fino alla chiusura dello scarico stesso, questo evidentemente per evitare l'uscita dei gas freschi in quella fase critica di lavoro.

La formula base utile a calcolare la dimensione del controcono e del cono usa queste grandezze:

ampiezza in gradi della fase di scarico "a"

velocità dei gas in metri al secondo "v"

regime di rotazione "n" al quale il motore dovrà lavorare

coefficiente K (relativo allo spostamento dei gas; =12 per il controcono, =24 per il cono)

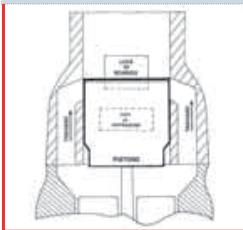
Si ottiene: $L = a \cdot v / K \cdot n$

Esempio pratico, proviamo a progettare una espansione dedicata a una 125 da 180° di fasatura di scarico che vuole un motore utilizzabile al meglio nell'arco di giri compreso tra 8000 e 11000.

La prima dimensione da individuare è la lunghezza "L" del tubo dalla bocca della luce a filo del pistone fino all'origine del controcono. In questo caso interessa il valore massimo dei giri da raggiungere, quindi con K=12 a calcoli fatti avremo una lunghezza di 681 mm; se utilizzassimo un numero di giri inferiore otterremmo un tubo più lungo. Seconda dimensione è la lunghezza del controcono "C" che determina l'ampiezza dell'arco del regime di giri in cui l'espansione lavora: è definita dal range di utilizzo, quindi dobbiamo applicare la formula di prima e fare la differenza tra i due valori estremi. Otteniamo il valore di 256 mm. A corollario possiamo già osservare che quanto più l'angolo del cono sarà elevato (cono corto) tanto più l'espansione lavora in un campo ristretto di giri: questo discorso vale soprattutto per il controcono, ma anche nel cono divergente una maggiore angolatura fa aumentare la depressione e quindi la velocità dei gas in uscita; il tutto ovviamente entro dei limiti che si possono individuare fra 8 e 12° per il cono e fra 15 e 22° per il controcono, calcolati rispetto a una

Coefficienti 12 e 24 Nella formula per il calcolo dell'espansione $L = a \cdot v / K \cdot n$ il coefficiente è rappresentativo del apporto tempo distanza relativo ai gas combusti e alle onde che si creano nel percorrere il tratto dal pistone al controcono e ritorno. Si ottiene con la semplificazione trasformando in secondi. La velocità dei gas viene espressa in metri per secondo semplificando col il minuto utilizzato come riferimento per il regime di giri di un motore; la semplificazione porta a dividere per 60 i secondi ottenuti (= 1 quindi scompaiono) e i 360° del giro completo. Il risultato è il coefficiente riferito alla sola andata, quindi va moltiplicato per 2 considerando anche il ritorno e per 24 quando si vuole fare riferimento alla seconda ondata.

I "pulse jet" delle V1 Dobbiamo ripercorrere un momento oscuro della storia moderna e tornare al secondo conflitto mondiale per trovare il filo che innescò la nascita del due tempi ad espansione. L'agguccio è con le bombe volanti V1 lanciate in circa 9000 unità dalla Germania verso l'Inghilterra col "risultato" (nel drammatico linguaggio degli storici) di circa 6.000 morti e 17.000 feriti di cui moltissimi tra i civili. Queste bombe razzo erano dotate di un motore a pulsazione di pressione, cadevano quando finiva il carburante (ecco lo studio su combustione e scarico) ed arrivavano al massimo a 140 miglia di distanza. Il concetto tecnologico venne trasferito nell'espansione del 2T.



retta ideale che percorra il tubo per tutta la sua lunghezza. A questo punto abbiamo le misure teoriche di massima del tratto iniziale e del controcono ma per realizzare lo scarico servono altre dimensioni. Il diametro del tratto rettilineo "D" in uscita dal cilindro è funzione del diametro del pistone, della cilindrata e del numero dei giri massimo al minuto; nel nostro esempio vale 36,5 mm; la sua lunghezza dipende dall'angolazione del cono divergente e dall'esecuzione della parte centrale. La lunghezza del cono divergente verrà calcolata per il range 7000-13500 giri usando K=24 perché a mio av-

viso è importante ottimizzarlo sulla seconda ondata, viene lungo 310 mm. Il diametro "d1" del tratto centrale "F" tra cono e controcono che fa da stabilizzatore fra zona di pressione e depressione si ottiene moltiplicando il diametro del tratto iniziale "d" per un coefficiente che varia tra 2,6 e 2,9; nell'esempio avremo un diametro "d1" variabile tra 95 e 105 mm. La lunghezza della parte centrale si può calcolare con la formula base utilizzando il valore medio tra i giri massimo e minimo di progetto (9.500 nel nostro caso) e sostituendo l'angolo di apertura del travasi con un valore di riferimento attorno a 20°. Il diametro del tubo di uscita "d2" dal controcono si ottiene moltiplicando il diametro della parte iniziale "d" per 0,6. La lunghezza dipende: sulle moto da pista dove puoi avere il silenziatore vicinissimo, è molto corto, pochi centimetri. L'uscita gas dal controcono nel racing è fatta al tornio al decimo di millimetro (ripetibilità), un pezzo che fa ad esempio gli ultimi dieci millimetri del controcono e i primi dieci del tubo finale; saldi al controcono e calzi e saldi il tubo dritto che regge il silenziatore. Nel fuoristrada dove hai l'esigenza di fissare il silenziatore lontano fai un leggero aumento di diametro perché un tubo ad esempio da 22 mm molto lungo fa una certa resistenza così esci magari a 22 e ti allarghi dopo a 24 a 26.

