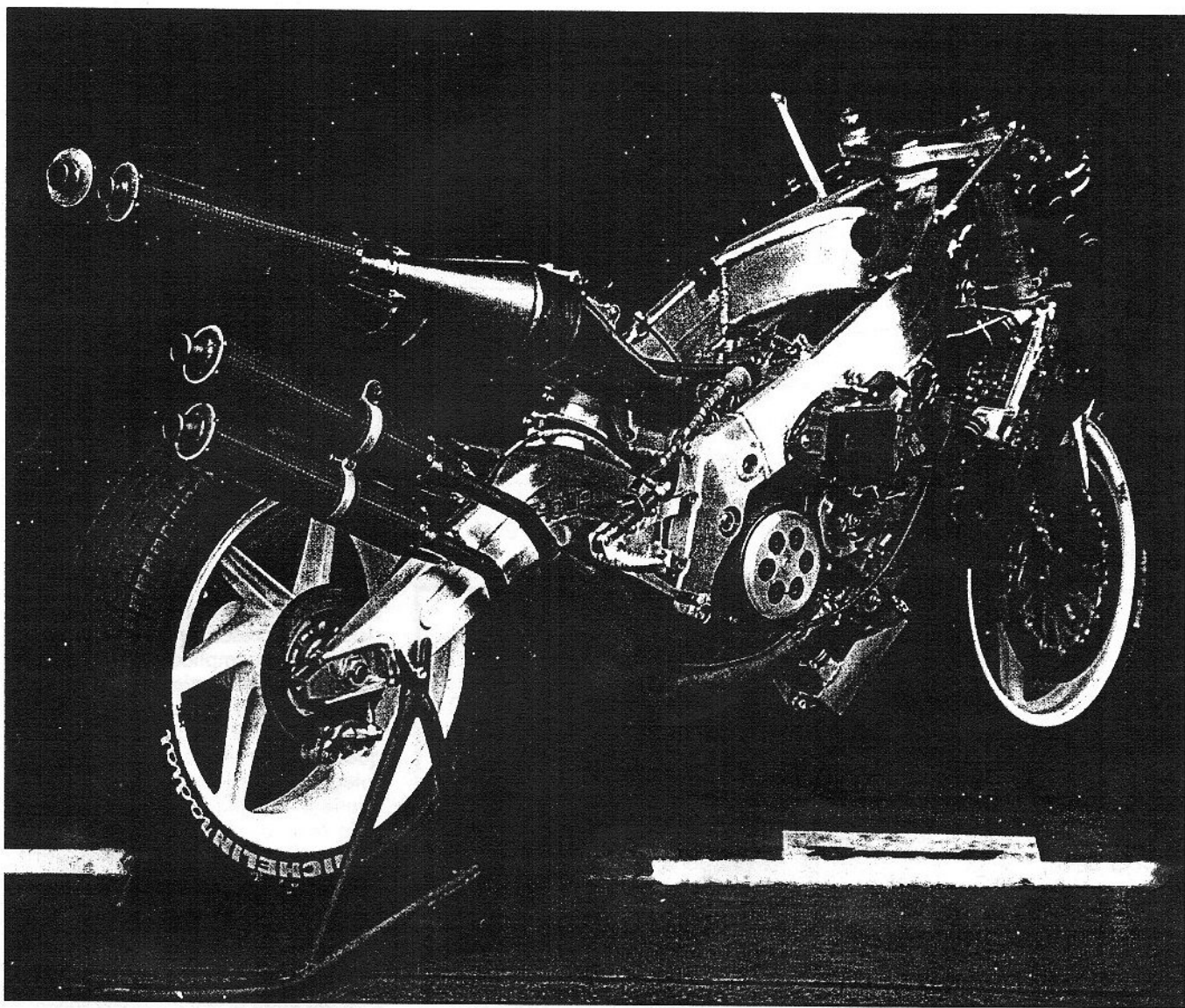


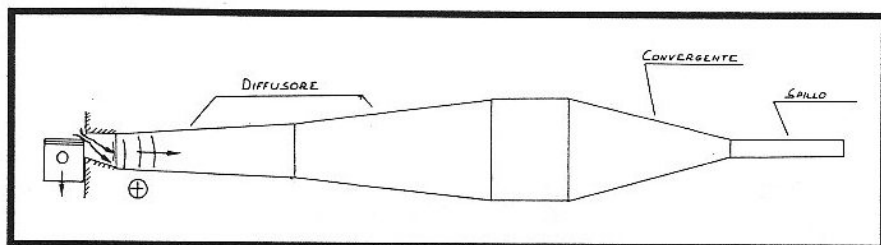
LO SCARICO

Analisi dell'influenza sull'erogazione del motore della forma del circuito di scarico ed in particolare delle espansioni con confronti fra diverse soluzioni e riferimenti costruttivi. In una prossima puntata verranno analizzati con maggiore dettaglio gli accorgimenti necessari per la realizzazione pratica di un'espansione e di silenziatori.

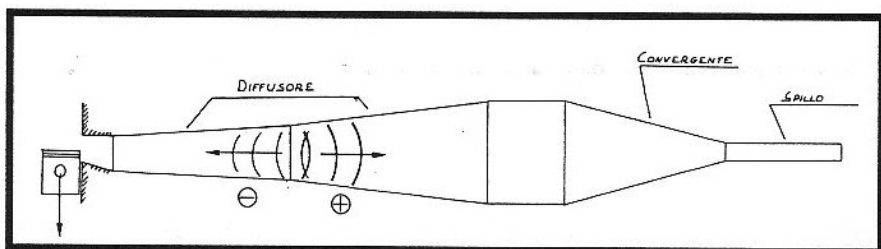
di Vanni Spinoni



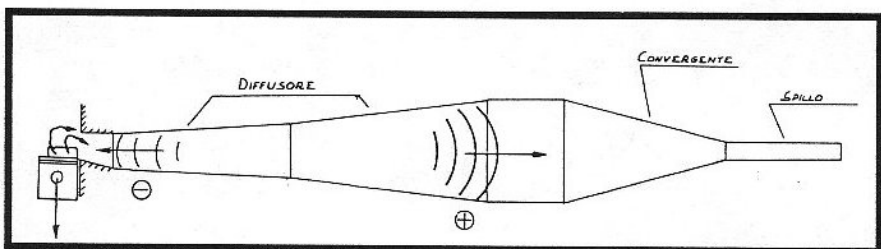
Gli scarichi costituiscono ormai una componente architettonica abbastanza consistente dei mezzi con motore 2T, particolarmente se policilindrici: nella foto l'Honda NSR 500 di Doohan. Si può notare come i due scarichi superiori, praticamente rettilinei, siano realizzati con il classico metodo dei tronchi di cono saldati, mentre i più contorti scarichi inferiori sono in due gusci stampati (o talvolta ottenuti "gonfiando" gli sviluppi piani una volta saldati). Naturalmente la prima soluzione è molto più costosa quando, come in questo caso, non si debba avviare una produzione di grande serie.



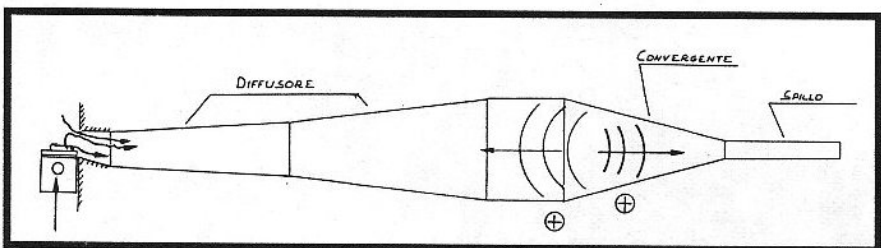
Come primo passo del funzionamento semplificato di una espansione, vediamo che, al momento dell'apertura della luce di scarico, si propaga lungo il condotto una energica onda di pressione, che si muove verso l'uscita molto più velocemente dei gas che stanno anch'essi uscendo dal cilindro.



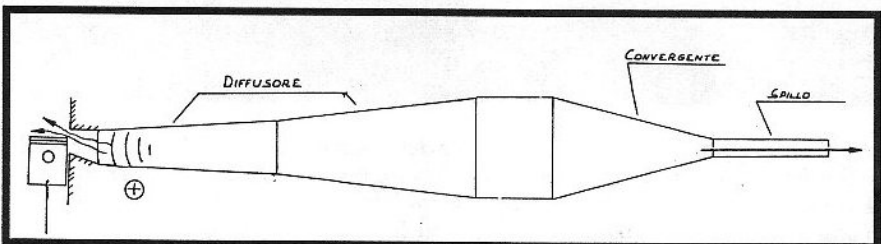
L'onda di compressione (contrassegnata dal segno "+") procede lungo lo scarico fino al diffusore, nel quale ha luogo una riflessione in senso contrario di un'onda di depressione (segno "-").



Questa onda di depressione arriva alla luce di scarico quando il pistone è nella zona del PMI, e quindi le luci di lavaggio sono già aperte. La diminuzione di pressione richiama ulteriore miscela fresca dal carter-pompa, facilitando quindi il lavaggio ma portando anche una quota di questa carica nel condotto, all'esterno del cilindro. Nel frattempo, l'onda di compressione è quasi arrivata nel tratto convergente della marmitta.



Parte della carica fresca si sta perdendo allo scarico, per cui si rende necessario far arrivare un'altra onda, questa volta di compressione, che viene generata nel convergente dalla riflessione dell'onda in arrivo.



Come naturale proseguimento del discorso sul sistema di scarico del motore 2T, arriviamo (finalmente! dirà qualcuno...) a far quattro chiacchiere a proposito dello scarico vero e proprio, che si materializza in quell'affusolato ed a volte contorto involucro di lamiera battezzato in molti modi: espansione, marmitta, ecc. Indubbiamente l'argomento "scarico" suscita un notevole interesse fra gli appassionati di tecnica motoristica, perché una considerevole fetta delle prestazioni ottenibili da un moderno 2T si può attribuire all'effetto di questo "accessorio", che quindi poi non è tanto tale.

Lo scarico è una parte fondamentale del motore, quasi essenziale quando si tratti di unità per uso motociclistico, con l'eccezione delle categorie limitate per legge nelle prestazioni, quali i ciclomotori.

Come è stato ripetuto più volte su queste stesse pagine, il sistema di scarico non serve soltanto a portare fuori dal motore i gas combusti ed a scaricarli in una zona del motociclo che non infastidisca il guidatore: per questo scopo è sufficiente un pezzo di tubo...

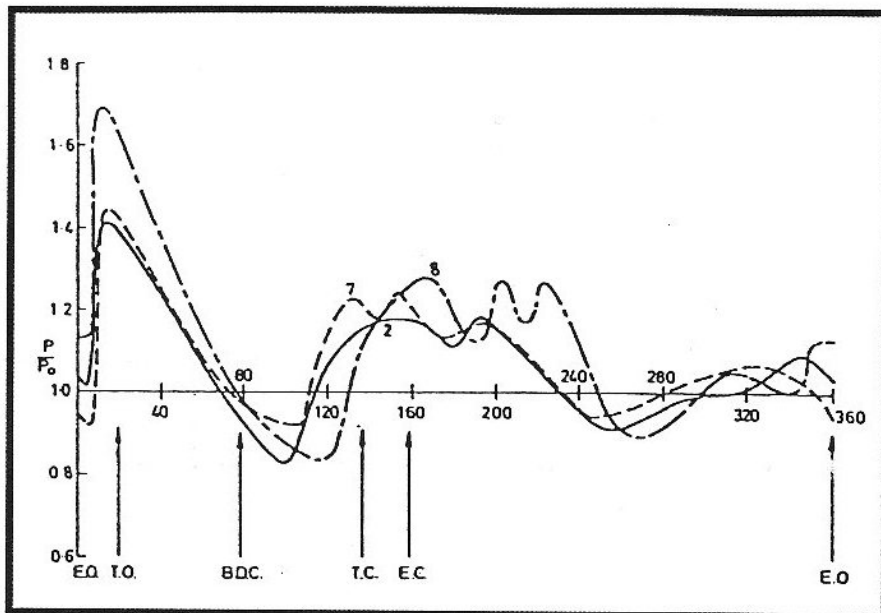
La sua funzione fondamentale è quella di contribuire ad aumentare il coefficiente di riempimento del motore e, aspetto importantissimo, nell'essere in grado di svolgere questo compito per un campo di regimi più ampio possibile. Purtroppo, proprio per i principi di funzionamento sui quali è basato il funzionamento dello scarico duetempistico, queste due ultime esigenze sono in una certa misura contrastanti. Infatti l'espansione mantiene la sua massima efficacia per un campo di regimi piuttosto ristretto; per gli altri superiori ed inferiori - l'efficacia del sistema decresce fino ad annullarsi nei casi più complicati.

Per trattare in maniera dettagliata il funzionamento della marmitta si rimanda il lettore ai numeri 5 e 6/89 di questa stessa rivista, nel quale viene spiegato passo passo, anche se in maniera semplificata, un completo ciclo di lavoro del sistema; in questa sede ci limiteremo a qualche breve richiamo, che darà ragione delle considerazioni che seguiranno, essen-

◀ E questa onda di compressione chiude il ciclo di funzionamento, forzando la miscela fresca che si trova nello scarico all'interno del cilindro, appena prima che la luce venga chiusa dal pistone che sta salendo verso il PMS.

zialmente di ordine pratico. L'espansione funziona sfruttando il moto delle onde di pressione che si muovono al suo interno, o meglio in seno ai gas di scarico che essa contiene.

Possiamo iniziare l'esame del funzionamento nell'istante in cui si apre la luce di scarico: in questo momento si precipita nel condotto, cioè nel primo tratto dell'espansione, una violenta onda di compressione, che si muove nel gas già presente viaggiando alla



Questi sono rilievi sperimentali ottenuti misurando in prossimità del cilindro le effettive variazioni di pressione che hanno luogo nello scarico durante il funzionamento del motore. Le linee tratteggiate rappresentano il comportamento di marmitte differenti, per il medesimo motore, allo stesso regime.

In verticale la pressione, in orizzontale il tempo, con riportato il diagramma della distribuzione: E.O.=apertura scarico; T.O.=apertura travasi; B.D.C.=PMI; T.C.=chiusura travasi; E.C.=chiusura scarico.

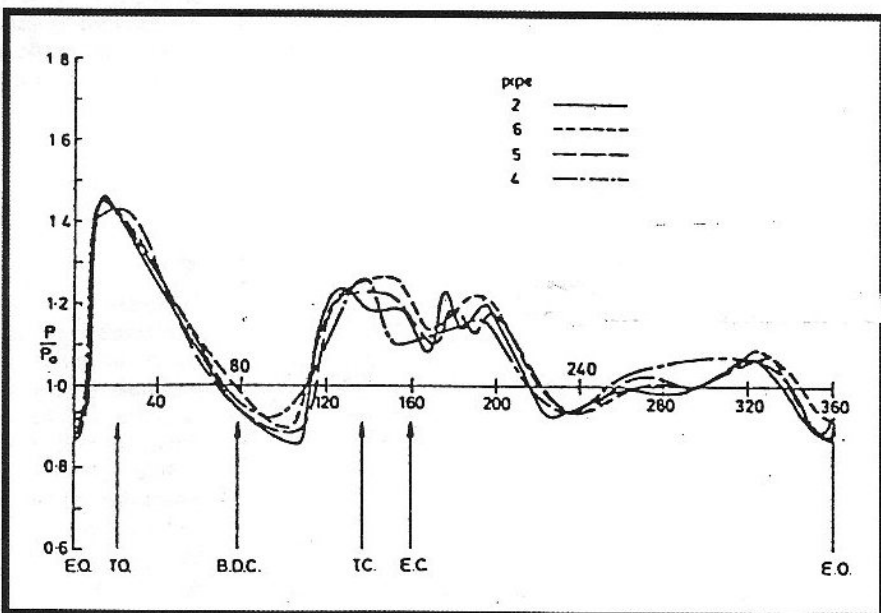
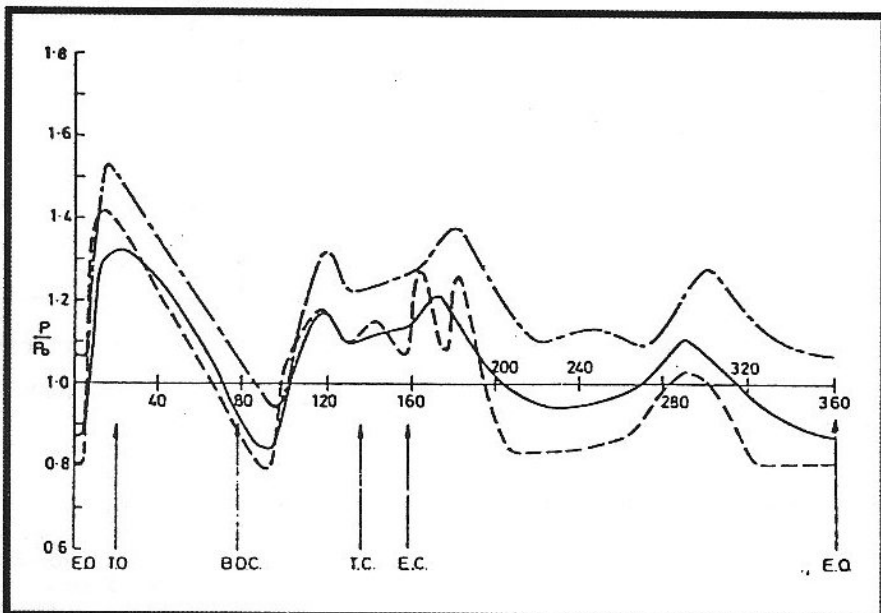
Osservando il diagramma, che è molto simile per tutti gli scarichi, si nota, appena dopo l'apertura dello scarico, la violenta onda di pressione che arriva nel condotto (picco positivo) mentre intorno al PMI (posizione B.D.C.) il picco di pressione negativo rappresenta l'onda di depressione che aiuta il lavaggio.

Andando ancora a destra, cioè avanti nel tempo, si trovano le fluttuazioni di pressione positive, con andamento molto simile, che arrivano prima che si chiuda lo scarico (E.C.) e sono proprio quelle citate in precedenza e che spingono la carica dispersa nel cilindro.

In seguito, a luci chiuse, hanno luogo altre riflessioni, che secondo il tipo di scarico sono più o meno intense, e se

vrebbero portare il collettore in depressione prima della successiva apertura della luce.

Come si vede dai grafici le forme delle onde, pur se seguono il medesimo schema, possono essere in certa misura influenzate dalla configurazione geometrica dello scarico e dal regime, per cui si spiega l'efficacia più o meno elevata di una marmitta nelle varie condizioni di funzionamento.



velocità del suono. Per inciso, la velocità del suono non è una costante, ma dipende dalla temperatura del gas secondo la sua radice quadrata. Quindi con l'aumentare della temperatura aumenta anche la velocità dell'onda.

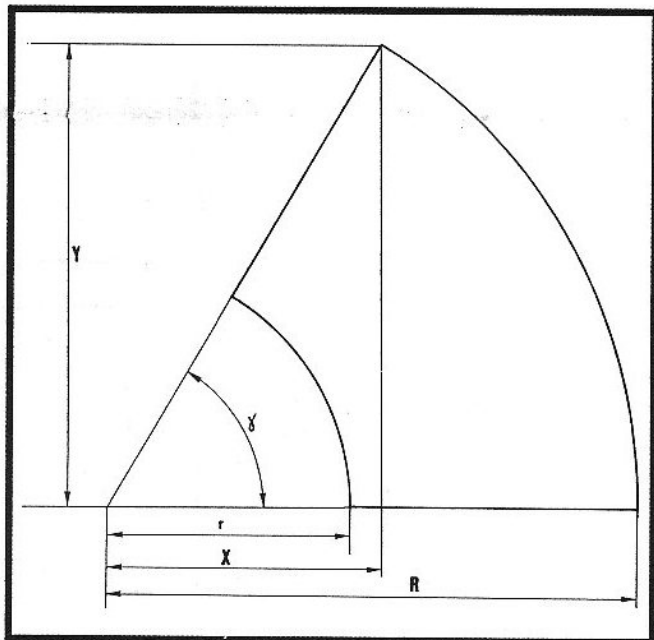
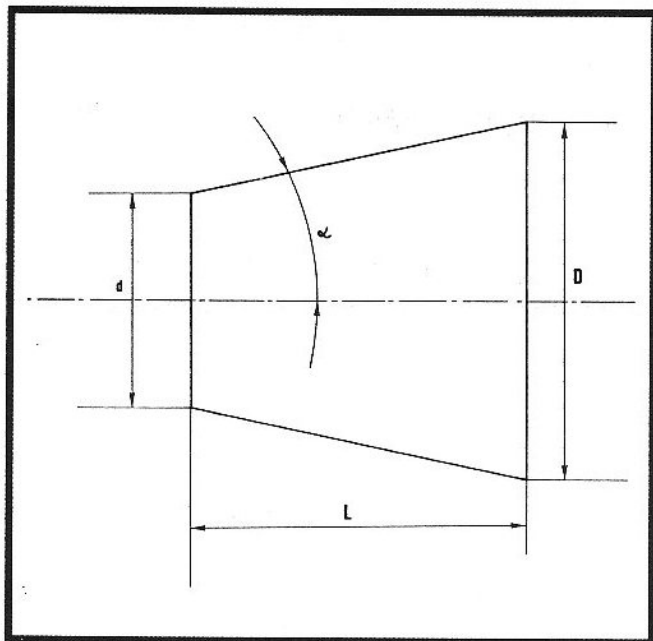
Il primo tratto del sistema ha un andamento più o meno divergente (diffusore), ed i diffusori hanno la proprietà di riflettere all'indietro le onde di pressione che li percorrono, cambiate di

segno: nel nostro caso l'onda di compressione che arriva dalla luce di scarico vi ritorna, in maniera progressiva, come onda di depressione. È questa onda di depressione dovrebbe arrivare alla luce di scarico, se il sistema funziona bene, quando il pistone è quasi al PMI, e si sono da poco aperte le luci di lavaggio. In questo modo il cilindro viene a trovarsi in depressione, rispetto al carter pompa, ed il trasferimento della mi-

sceola viene agevolato in grande misura.

Naturalmente l'effetto di risucchio non dura indefinitamente, perché mentre noi stavamo a guardare quello che succedeva nel cilindro, l'onda di compressione iniziale aveva proseguito la sua corsa verso la parte terminale dell'espansione.

Infatti la riflessione nel diffusore non ha dissipato tutta l'energia dell'onda, che quindi viene riflessa all'indietro



Per definire un cono di lamiera, componente base dello scarico, servono tre parametri, a scelta tra d , D , lunghezza L ed angolo di semi-apertura α

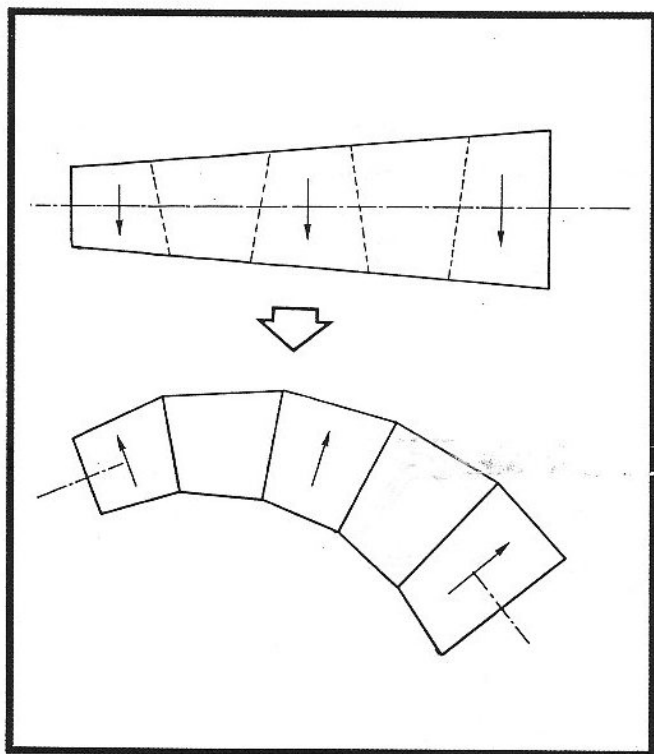
Una volta definite le dimensioni del cono si deve disegnare il suo sviluppo piano, che ha questo profilo. Le relazioni con le dimensioni del cono sono le seguenti: $R = D / (2 \times \sin \alpha)$; $r = d / (2 \times \sin \alpha)$;

le dimensioni X ed Y servono per definire con precisione, nel disegno, l'angolo γ che non è mai un valore intero.

Quindi $\gamma = 360 X \sin \alpha$ (e fin qui sono numeri),

poi $X = R \cos \gamma$;

$Y = R \sin \gamma$, ed è molto più facile disegnare X ed Y piuttosto che un angolo con molti decimali. Per comodità, conviene disegnare e ritagliare questi sviluppi su un cartoncino, piuttosto che direttamente sulla lamiera: rimarranno i modelli riutilizzabili e sulla lamiera sarà sufficiente ricalcare la sagoma di cartone.



Molto spesso il problema più difficile da risolvere consiste nel realizzare il primo tratto della marmitta, che è quasi sempre curvo: se non si riesce (o non si vuole) modificare il pezzo originale, e contemporaneamente non se ne può avere uno da lavorare, l'unica soluzione consiste nel costruire questa parte dritta, come le altre, e poi curvarla come illustrato. La si taglia a fette con tagli obliqui, poi si saldano i pezzi ruotandoli alternativamente di 180° fino ad ottenere la curva voluta. Richiede un poco di pazienza e di abilità (sono necessari molti tratti per non avere spigoli accentuati) ma il risultato funziona egregiamente.

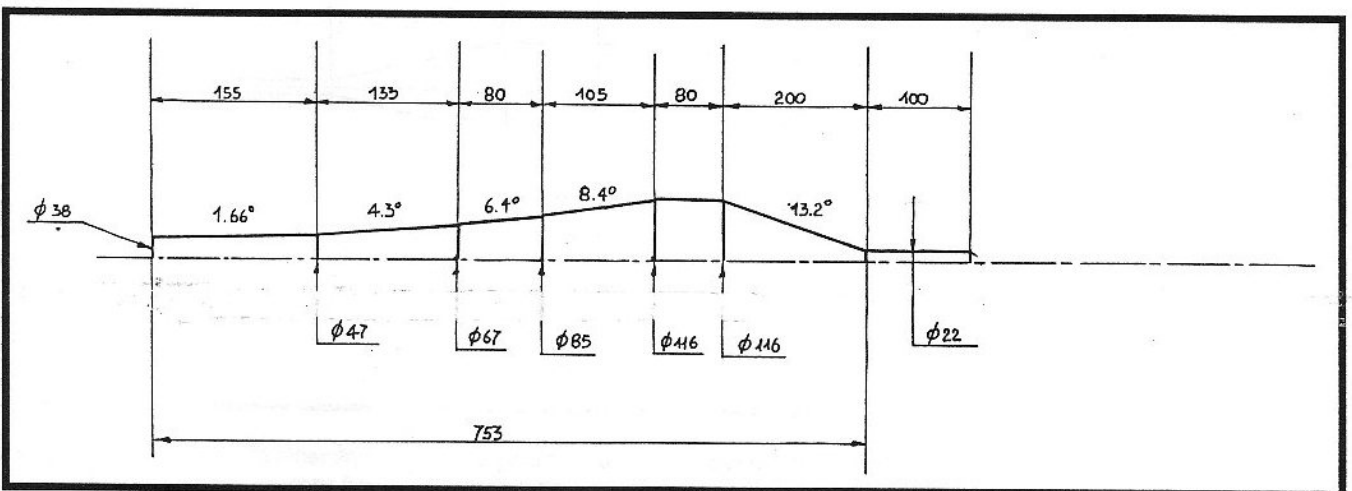
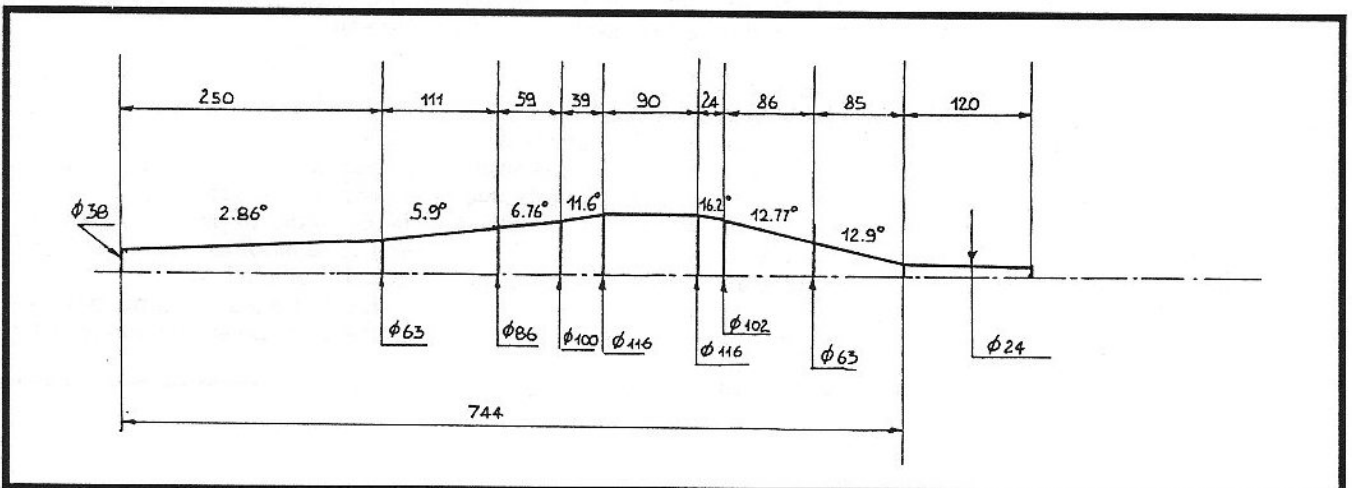
solo in parte e può proseguire il suo viaggio. Durante questa peregrinazione nell'interno della marmitta l'onda di compressione arriva nella parte finale, che è convergente e che rende così... aggressive le marmitte.

Al contrario dei diffusori, i condotti convergenti riflettono ancora in maniera progressiva le onde che li percorrono, però non ne invertono il segno; di conseguenza se l'onda in arrivo è di compressione ritorna indietro ancora come onda di compressione, viaggiando sempre verso la luce di scarico.

Questa volta arriverà sulla luce appena prima che il pistone, risalendo da PMI, la chiuda completamente. In questo modo i gas freschi che si trovano nel primo tratto del condotto di scarico perché persi dal lavaggio vengono ricacciati indietro nel cilindro, che è la loro dimora naturale e dove svolgeranno proficuamente il loro lavoro. Il ciclo di funzionamento dell'espansione è virtualmente terminato: avranno



Come risultato di una lavorazione artigianale, si ottiene una marmitta del genere di quella fotografata: si può notare come il tratto curvo iniziale sia ottenuto da una prima parte stampata, e da una seconda ricavata con alcune "fette", mentre la curvatura della pancia è stata ricavata sempre con il metodo testè illustrato. Tutte le parti accessorie, cioè flangia di unione al cilindro, staffe di montaggio, spillo terminale, sono saldate ad ottone.



Facciamo un po' di numeri, e iniziamo mostrando gli sviluppi rettilinei degli scarichi di due 500 GP quattro cilindri, una dell'89 e l'altra del '91. Come si può osservare, rispetto ai valori numerici consigliati (e sottolineiamo consigliati) nel testo, in questo caso si va su valori decisamente superiori, per ottenere le cattivissime caratteristiche proprie di questi propulsori. Per inciso, l'erogazione utile (per il pilota) di queste moto andava da 7-8000 fino a 12500-13000 giri.

luogo invero altre riflessioni delle onde già riflesse, ma in prima approssimazione possiamo ritenere queste onde "secondarie" ininfluenti per due motivi: ad ogni riflessione l'onda diminuisce di ampiezza (cioè è sempre più debole) per cui una seconda riflessione, dopo quella "utile", ci restituirebbe un'onda praticamente priva di energia; in secondo luogo, ormai la luce di scarico si è chiusa (fino al ciclo successivo) per cui chi s'è visto s'è visto...

Da notare che fino ad ora si è parlato del movimento di onde di pressione e non di moto dei gas di scarico: si tratta di due fenomeni differenti che per questo discorso molto schematico possiamo ritenere separati: le onde di pressione si muovono ad una velocità compresa fra 700 e 500 m/s all'interno della massa di gas di scarico, che è pur vero si muove anch'essa (verso l'uscita, è ovvio) ma con una velocità nettamente inferiore (una decina di volte) per cui le onde di pressione "vedono" il gas di scarico come se fosse addirittura fermo.

A sua volta, il gas non risente in prima approssimazione del passaggio dell'onda ma continua imperturbabile il suo moto, che è un trasferimento di massa dal cilindro fino all'uscita della marmitta, per andare ad inquinare il mondo esterno... Prima di passare ad una parte un pochino più pratica chiariamo il significato del termine "onda progressiva".

L'onda può essere vista con un ideale superficie di separazione tra due diverse condizioni del gas: prima del-

l'onda il gas ha una certa pressione, alle spalle di questa (rispetto al senso del moto) la pressione è maggiore - onda di compressione - o minore - onda di depressione.

In natura i fenomeni fisici ben raramente hanno però un andamento "a gradino" come può mostrare questa descrizione: si pensi come esempio alle onde che si propagano sulla superficie di un liquido.

In questo caso noi percepiamo la variazione dello stato del liquido come variazione dell'altezza della superficie, ma è ovvio che il pelo del liquido non varia bruscamente, con uno... spigolo; la variazione è graduale, e così pure quando l'onda è passata il livello diminuisce gradualmente.

La stessa cosa succede in seno al gas che abbiamo trattato: se si va a mettere un rilevatore di pressione in un punto qualsiasi del condotto, si rileveranno variazioni progressive della pressione, che passerà gradatamente da un minimo ad un massimo, secondo le caratteristiche delle onde di pressione che sono transitate in quel punto. Le illustrazioni sono alquanto eloquenti.

Proprio da queste illustrazioni si deduce che le fluttuazioni della pressione nell'espansione sono in realtà ben più complesse di quelle trattate nel nostro schema teorico: il principio testé spiegato viene in effetti seguito, tuttavia quello che avviene realmente nell'espansione è molto complicato, e ciò spiega la fama di "oggetto misterioso" che spesso circonda l'impianto di

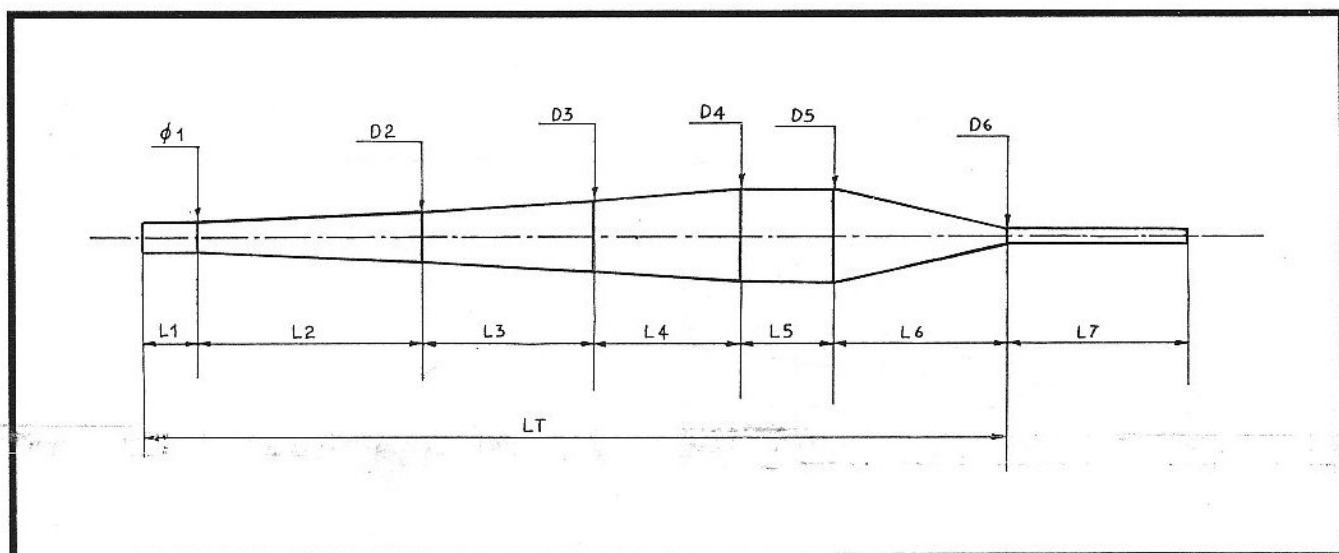
scarico del 2T. Per essere più precisi all'atto pratico, non è molto difficile realizzare un sistema che funzioni decentemente: con il bagaglio di esperienze ormai a disposizione dei tecnici, ed alla luce di semplici considerazioni teoriche come quelle sopra citate, il nostro motore funzionerà senz'altro meglio con l'espansione che gli costruiamo piuttosto che senza.

Il problema è molto, molto diverso quando si deve modificare uno scarico che già equipaggia una macchina, e che presumibilmente è stato realizzato da qualcuno che sapeva bene quello che faceva (almeno io lo spero sempre).

Innanzitutto è essenziale un freno, o banco prova, per condurre sperimentazione sugli scarichi: trascuriamo volutamente l'approccio matematico, la modellistica computerizzata, applicata al problema; le prove si conducono introducendo le modifiche per gradi, e ben difficilmente la risposta del propulsore varia in maniera repentina: la potenza che leggiamo al freno varia di poco, in più o anche, spesso, in meno!

Tutto questo per chiarire che un semplice collaudo di un scarico modificato in genere non fornisce valide indicazioni: si tratta di sensazioni del collaudatore, che potrà rilevare un motore più o meno "rotondo" e qualche centinaio di giri di differenza se proprio le modifiche sono state radicali ed... efficaci.

In pista il discorso è un poco diverso perché si dispone comunque del ri-



Per costruire una espansione si devono stabilire le quote rappresentate nel disegno, ed eventualmente gli angoli di semi-apertura dei coni citati nel testo; a proposito della lunghezza complessiva LT resta da osservare che se è vero che essa è proporzionale al regime di potenza massima, non si può innalzare quest'ultimo indefinitamente limitandosi ad accorciare sempre più lo scarico, perché ogni motore ha un limite oltre il quale ulteriori riduzioni di lunghezza dello scarico risultano ininfluenti o dannose. Come dire che il campo di lunghezze entro cui lavorare, per variare il regime, è abbastanza ristretto e varia per ogni motore, dipendendo dalle temperature caratteristiche dei gas di scarico.

scontro cronometrico, ma in ogni caso un collaudo dinamico segue uno sviluppo al banco, anche perchè d'altro canto comè al solito i cavalli letti al freno non sempre rendono più efficace un mezzo.

Le motociclette che si trovano oggi in commercio sono macchine dalla meccanica piuttosto sofisticata, per cui affrontare la ricerca di uno scarico alternativo, che migliori le già ottime prestazioni che esse sono in grado di fornire, è un compito assai arduo per il semplice appassionato, che non disponga quanto meno di un dinamometro.

È vero, si possono tranquillamente condurre prove "ad occhio" - o meglio, regolate dal fondoschiena del pilota - ma il lavoro diventa molto difficile e soprattutto lungo.

Anche ammettendo di disporre di un circuito di prova e/o di un tratto di strada adatto, le condizioni di prova non consentono di ottenere risultati ripetibili.

Inoltre al freno si possono montare via via scarichi rettilinei, molto più semplici da costruire rispetto alle forme contorte da installare sulla moto.

Del resto, quando il motociclista è decisamente intenzionato ad intervenire sul suo mezzo, ben difficilmente si riesce a dissuaderlo dal suo intendimento, per cui tanto vale proseguire con alcuni consigli per coloro che volessero cimentarsi nella realizzazione o, più preferibilmente, nella modifica dello scarico. In ogni caso, il divertimento è assicurato.

Supponendo di disporre del pezzo originale, di solito è molto interessante nonché utile rilevare la configurazione di questo componente, che è

sicuramente stato realizzato dalla casa costruttrice dopo accurate prove.

In seguito, anche alla luce di queste brevi note, si potrà decidere se vale la pena di intervenire, e dove, per adattarlo alle proprie necessità, o desiderari...

Per i più esigenti, che vogliono partire da zero e costruire una espansione ex novo, sarà sempre utile avere un modello cui... ispirarsi, perché la marmitta viene costruita sul carattere del motore, e quindi differenze molto marcate di solito non sono efficaci.

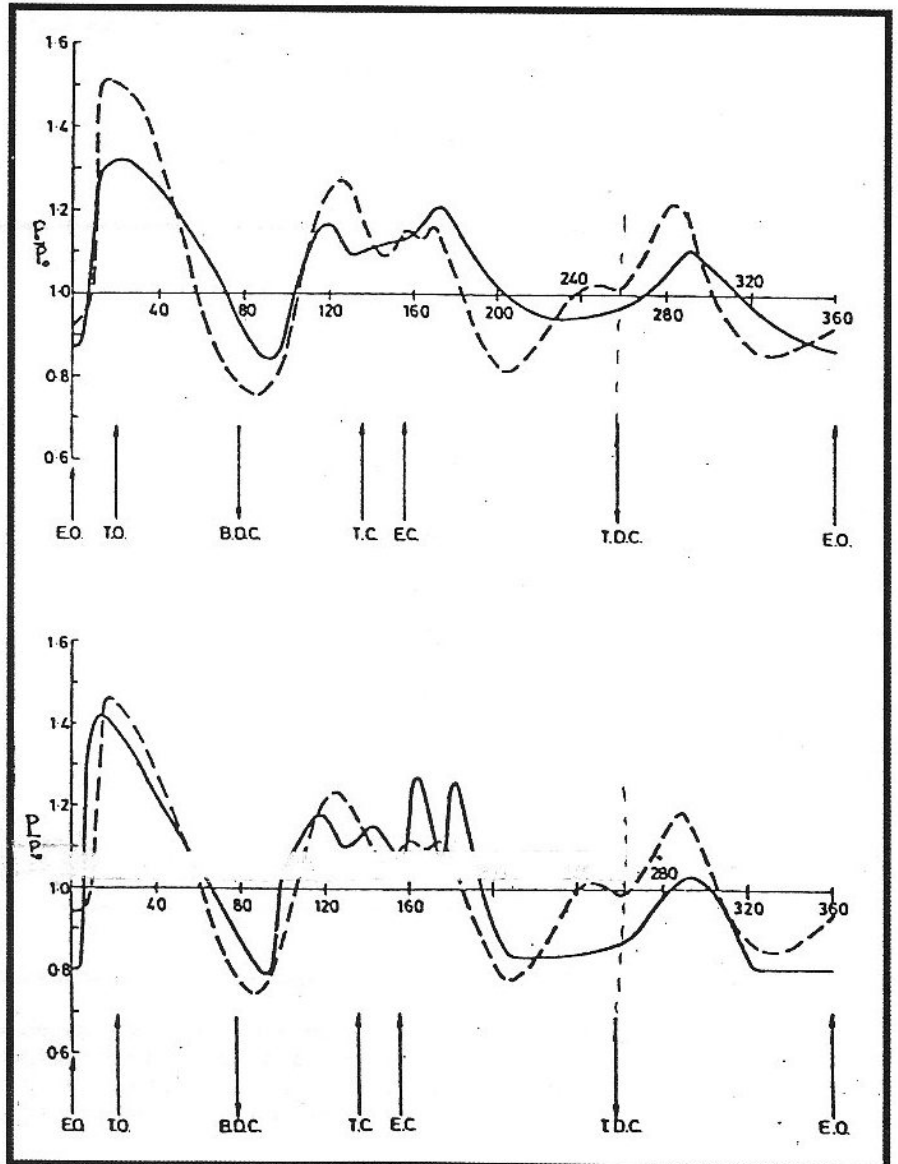
Piccole modifiche possono essere utili, ma scarichi completamente diversi ben difficilmente danno subito risultati positivi.

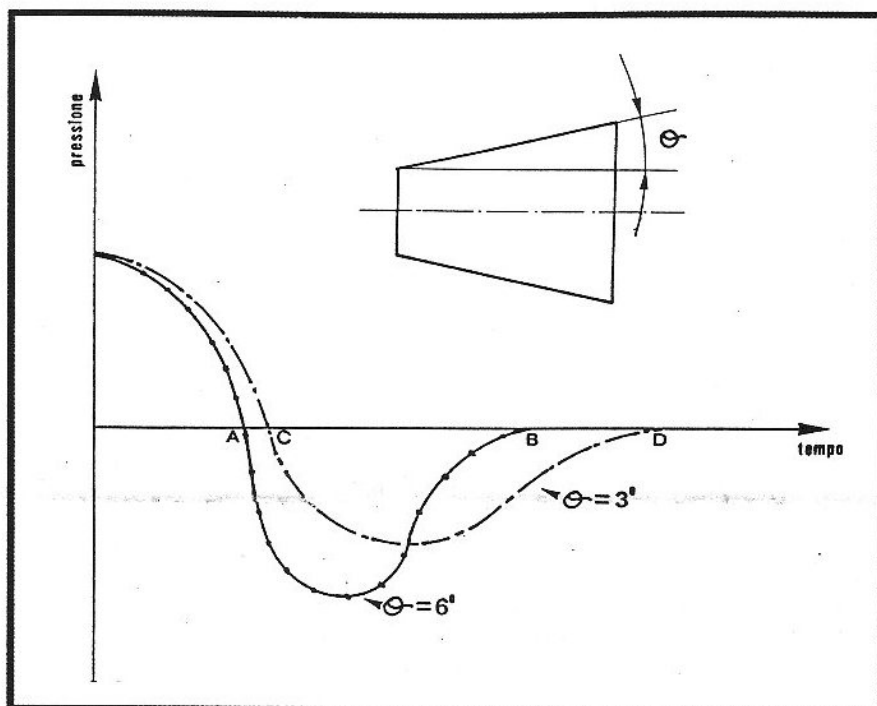
Per fare un esempio, c'è chi ha provato a montare su una moderna 125 stradale uno scarico prelevato pari pari da una 500 G.P., prevedendo prestazioni favolose ed ottenendo invece un mezzo praticamente impossibile da guidare, che tutto sommato

era anche meno veloce della versione originale! Le modifiche allo scarico, ma in generale tutte quelle che vanno sotto il nome di "elaborazioni" per mezzi stradali, vengono effettuate con lo scopo di aumentare la potenza massima, a scapito della pienezza della erogazione, che per i moderni 2T soprattutto di piccola cilindrata già di per sé non è sostenuta (non in assoluto intendiamoci, ma rispetto ai cugini 4T altrettanto "elaborabili"). Quindi, ammesso che si riescano ad ottenere motori con curve caratteristiche appuntite oltre il lecito, si presenta poi il problema di far arrivare il motore ai regimi nei quali viene erogata questa favolosa potenza.

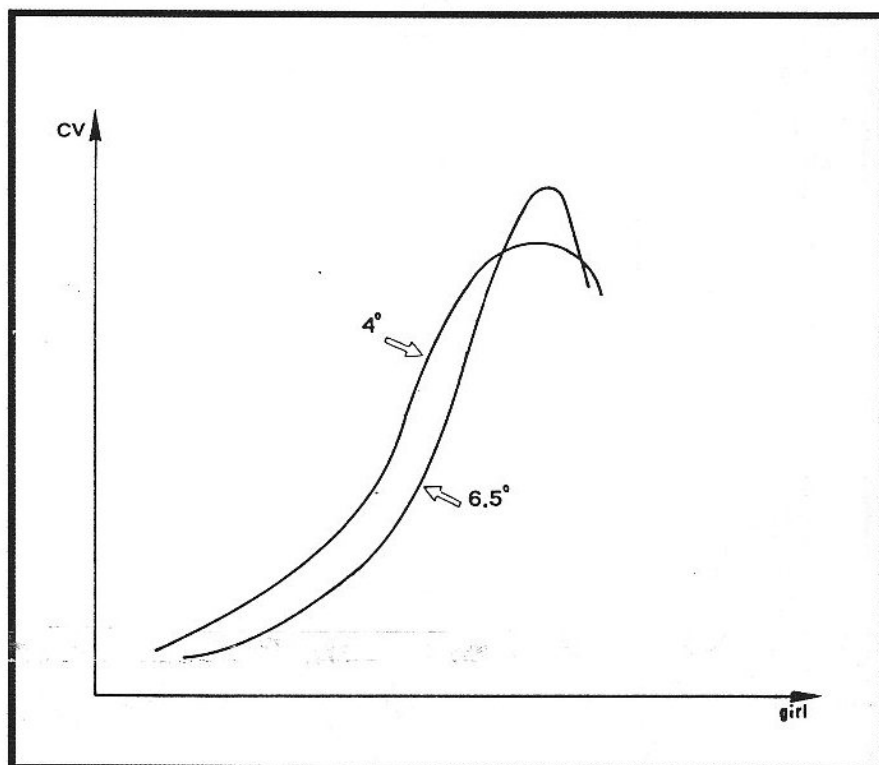
Il cambio di velocità ha una sua spaziatura, per cui nelle marce alte può accadere che il calo di regime, dopo la cambiata, sia tale da portare in un punto della curva di erogazione in cui la potenza (o meglio, la coppia) sia insufficiente ad accelerare ulteriormente.

►
Come al solito, si può affrontare il problema della progettazione di uno scarico anche con la modellistica computerizzata, cioè costruendo un modello matematico che rappresenti il funzionamento del sistema dal punto di vista fluidodinamico ed elaborandolo con un calcolatore. In questi grafici, analoghi a quelli delle figure precedenti, sono riportati in linea tratteggiata gli andamenti della pressione come vengono previsti dal calcolatore, ed in linea continua come sono stati effettivamente misurati. Come si può notare gli scostamenti sono tutt'altro che rilevanti, particolarmente con la prova rappresentata nel primo disegno.





Rimanendo nella linea teorica, questo grafico schematizza l'andamento dell'onda di depressione che ritorna alla luce dal diffusore, in funzione della apertura del medesimo (angolo σ). Si noti come all'aumentare dell'angolo σ l'onda diventi più intensa, ma di breve durata: ciò spiega come diffusori molto "aperti" siano adatti a motori dall'erogazione appuntita ma con elevata potenza (onde energetiche); la breve durata temporale di queste onde si riflette però sulla impossibilità di ottenere una buona efficacia dello scarico su un ampio campo di regimi, caratteristica che si ottiene con diffusori "chiusi" che ritornano onde più lunghe nel tempo.



Andando ad esaminare il risultato finale dell'effetto del sistema di scarico, riportiamo due curve caratteristiche del medesimo motore, il cui scarico abbia due diversi tipi di diffusore, uno con semi-apertura di 4° ed uno da $6,5^\circ$. Per il secondo è evidente l'aumento della potenza, a scapito della curva agli intermedi. Notare che il regime di potenza massima è praticamente invariato.

te il veicolo, o addirittura a mantenerlo alla medesima velocità: prima, seconda, terza, quarta, quinta, ... ed in sesta il motore non prende più i giri o addirittura rallenta e non viene salvato neppure da una sfrizionata.

Ritornando alla nostra marmitta, è opportuno osservare come la rappresentazione schematica di uno scarico segua un andamento rettilineo: in effetti è molto più semplice da disegnare, ed alla luce dell'esperienza la curvatura del sistema, necessaria per montarlo sulla moto, non comporta alcuna differenza prestazionale.

È viceversa essenziale che il serpentine, una volta costruito, mantenga le misure del progetto rettilineo, pur se su tratti più o meno curvati.

Del resto anche per rilevare le misure dal pezzo originale si deve operare su uno scarico che non è perfettamente rettilineo: per poter seguire con la massima precisione possibile l'andamento delle varie sezioni, conviene suddividere il pezzo in numerose parti e misurarle singolarmente.

Innanzitutto misurare separatamente le varie sezioni in cui le saldature suddividono il pezzo: di solito ciascuna di queste parti, ottenuta per stampaggio, costituisce un tratto dello scarico caratterizzato da un unico valore di conicità; per sincerarsene conviene misurarlo anche a metà del suo sviluppo, e controllare che l'angolo di apertura sia il medesimo per ciascuna parte.

Le dimensioni fondamentali di ciascun tratto conico di un'espansione sono i diametri delle sezioni terminali (D la maggiore, d la minore), la lunghezza L misurata lungo l'asse (quindi attenzione ai tratti curvi), e l'angolo α di semi apertura, che è legato alle prime tre misure dalla relazione

$$\tan \alpha = (D-d)/2L$$

Ovviamente ai nostri scopi interessano le misure interne, per cui i diametri vanno diminuiti di due volte lo spessore della lamiera (in genere si tratta di lamiera da 1 mm) salvo poi sommare di nuovo questo valore quando si devono disegnare gli sviluppi piani dei coni che dovremo tagliare; questa volta, preferibilmente, in lamiera da 0.8 mm, altrettanto resistente ma più leggera e facilmente lavorabile.

Qualsiasi commerciante di semilavorati metallici può fornirne fogli da 2m x 1m e alcuni ne tagliano anche spezzoni più piccoli. Lo sviluppo piano del cono di lamiera ha la forma di un settore di corona circolare, le cui dimensioni si ricavano da quelle del cono secondo le relazioni poste a corredo della illustrazione, molto più chiara di una spiegazione scritta. Per

L'assemblaggio dei vari tratti si impiega la saldatura autogena con cannello ossiacetilenico (impiegare un ugello da 0.8-1 mm); le parti accessorie (flange, staffe di supporto) possono anche venire saldate con una brasatura forte (con ottone come metallo di apporto) che dà il vantaggio di non portare a fusione la lamiera in zone così sollecitate.

Naturalmente si possono impiegare anche altri metodi di saldatura, ma per spessori così limitati il più efficace e rapido resta quello citato, anche perché si tratta di una lavorazione manuale. Ben diverso è il discorso per prodotti di grande serie.

Veniamo finalmente ad affrontare il problema cruciale che si pone quando si vuole disegnare uno scarico: le misure dei vari tratti.

È doveroso fare una premessa importantissima: per forza di cose si dovranno, nel seguito, citare alcuni dati numerici, che però saranno da intendere assolutamente indicativi e non come tracce rigorose da seguire.

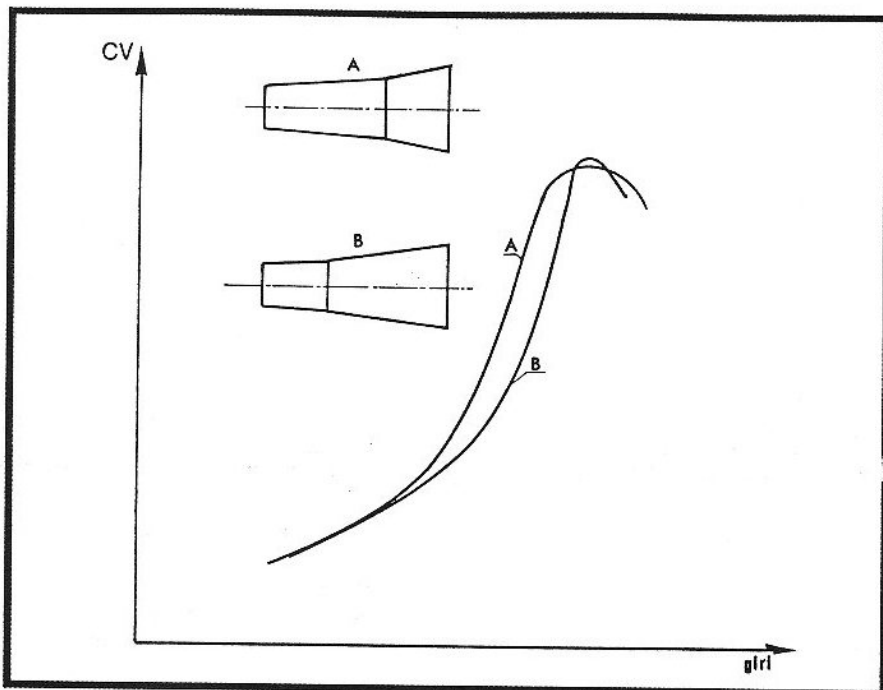
Il metodo che illustreremo è valido per elaborare un progetto di massima, di un intero scarico oppure di una parte di esso, ma vista la quantità di variabili che si è forzosamente trascurata, per arrivare ad una trattazione comprensibile e semplice da applicare in pratica, tutta la realizzazione andrà comunque verificata con cura e, molto probabilmente, abbinata di molte modifiche, anche abbastanza consistenti.

Tutto dipende da quanto sofisticato è l'insieme-macchina in cui il nostro lavoro si andrà ad inserire, e dalle possibilità che si hanno di rilevare differenze di comportamento più o meno marcate: ovvio che con un dinamometro si ottengono curve caratteristiche molto indicative, mentre all'opposto misurare solo la velocità massima taglia un po' le ali ad un lavoro di sviluppo.

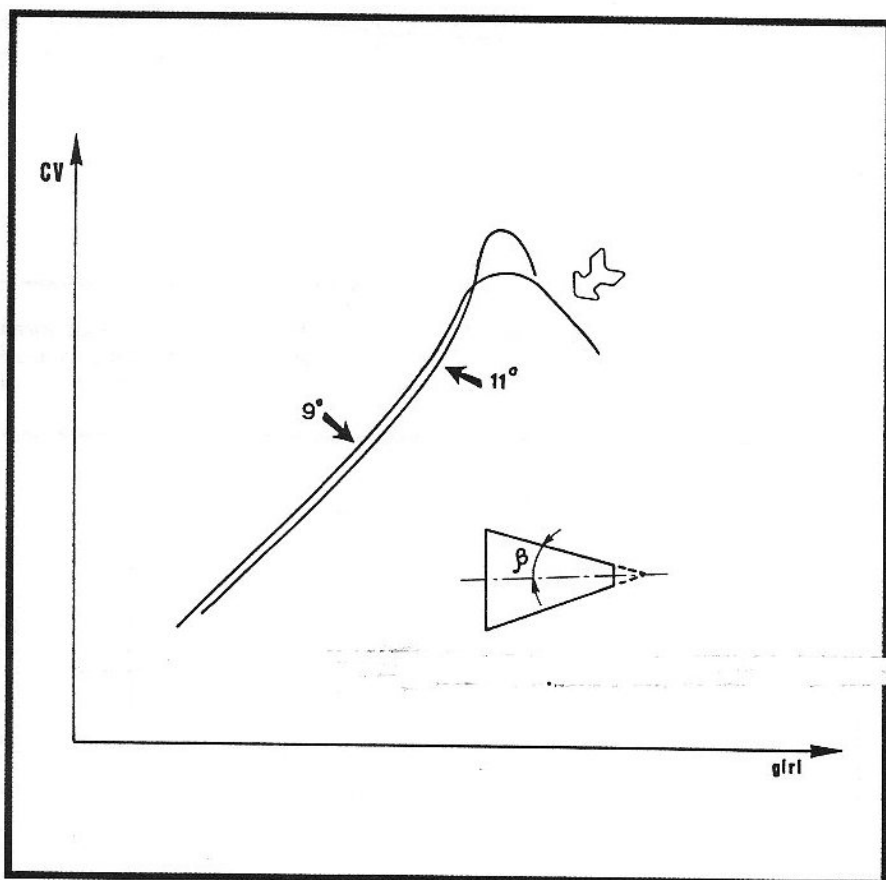
Riferendoci alle illustrazioni, iniziamo con il determinare la lunghezza complessiva della marmitta LT, che definiamo come la distanza tra la luce di scarico e la sezione terminale del tratto convergente.

In ogni caso, vale il fatto che la lunghezza LT è inversamente proporzionale al regime di rotazione cui si vuole il massimo effetto dallo scarico, cioè quello di potenza massima.

Infatti, andando a riprendere lo svolgimento del ciclo, si vede come le varie fasi siano regolate da un'andata e da un "ritorno" delle varie onde di pressione. Ora, l'onda che compie il tragitto più lungo è quella di compressio-



Impiegando un diffusore in due stadi, invece, si riesce a riempire in un certo senso la zona intermedia della curva, rispetto al diffusore singolo. Anche in questo caso sono riportate due differenti curve, riferite allo scarico con diffusore in due sezioni ma diversamente ripartite: per ottenere una curva più sostenuta nell'erogazione conviene spostarsi verso la situazione A, in cui prevale la sezione dotata di conicità minore, come era lecito attendersi alla luce della teoria. Del resto rimane sempre il problema di ripartire correttamente due sezioni di diffusore, invece che una sola.



L'effetto della conicità del tratto convergente si ripercuote essenzialmente sulla parte di caratteristica che si trova oltre il regime di potenza massima, il cosiddetto allungo. All'aumentare dell'angolo β si innalza il picco di potenza, ma a scapito dell'allungo.

ne, che deve arrivare fino al tratto convergente terminale e poi percorrere a ritroso il tubo fino alla luce di scarico: il percorso totale è lungo $2LT$, e lo supponiamo effettuato alla velocità del suono Costante A_0 .

Si tratta di un'approssimazione molto limitativa perché la velocità dipende dalla temperatura dei gas, che varia di molto lungo lo sviluppo della marmitta.

Con una elaborazione matematica di un modello è possibile conoscere temperature e velocità in ogni istante (e quindi avere un modello fedele del comportamento dello scarico) ma è un argomento che esula dallo scopo di queste note.

Quindi prendiamo per buono un valore dettato dalla pratica, che può andare, per A_0 da 500 a 700 m/s. Temperature elevate dei gas di scarico, dovute per esempio a carburazioni molto povere o anticipo errato, porteranno

globalmente le velocità del suono verso valori elevati e viceversa, tanto è vero che i due parametri citati si possono, all'inverso, sfruttare per modificare, entro certi limiti, la risposta dello scarico (e del motore ovviamente).

Chiamiamo ED la durata angolare della fase di scarico, RPM il regime (giri/min), si ha che allora la durata temporale della fase è

$$t = ED / (RPM \times 6) \text{ [secondi]}$$

Questo è il tempo che l'onda ha a disposizione per il viaggio di andata e ritorno lungo $2LT$; se spazio = velocità x tempo.

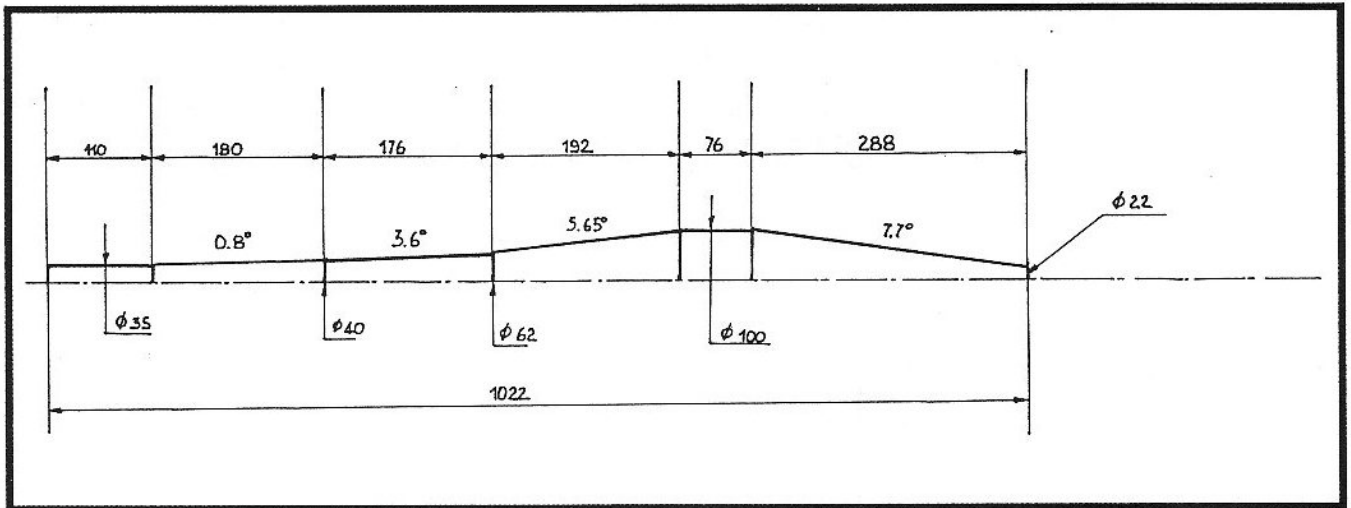
$A_0 \times ED / (RPM \times 6) = 2LT$, da cui ricavando LT si ha $LT = 1000 \times A_0 \times ED / (RPM \times 12) = 83.33 A_0 \times ED / RPM$ (millimetri); il fattore 1000 serve per passare dai metri ai millimetri.

Resta sempre l'incognita della velocità del suono A_0 che abbiamo assunto a priori, ma come prima approssima-

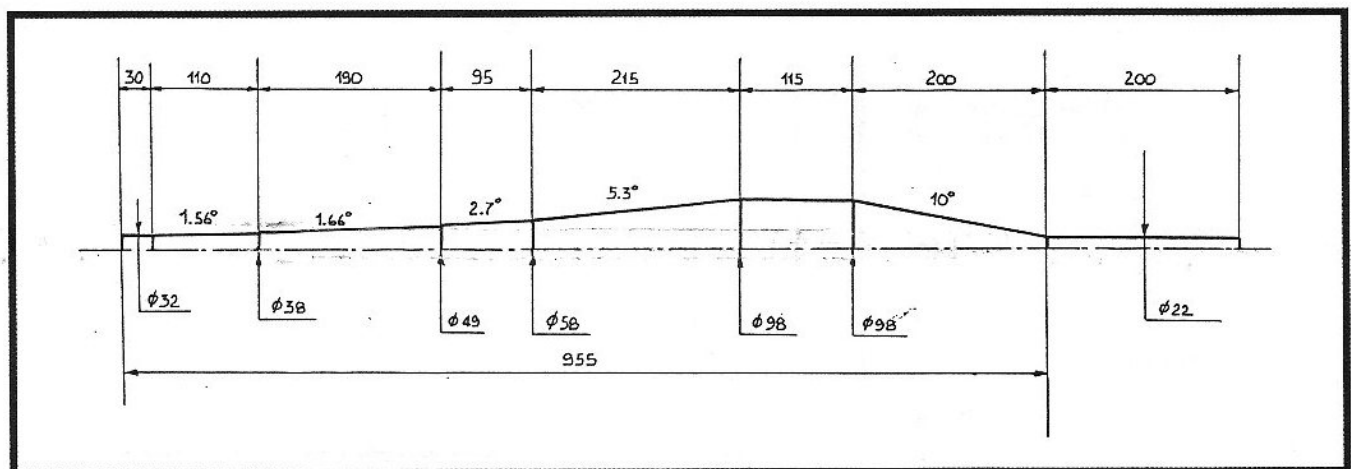
zione non si è molto lontani dal valore ottimale, beninteso di LT , non di A_0 . Fissato LT , resta da ripartire questa quota nelle varie parti secondo la nomenclatura del disegno.

$L1$ corrisponde al tratto di scarico ricavato nel cilindro, che per forza di cose non dipende dalle nostre scelte; in prima approssimazione possiamo assumerlo come $L1 = 0,09LT$. Arriviamo poi a quello che chiamiamo diffusore: in effetti il primo tratto dello scarico non ha lo scopo di un diffusore vero e proprio, tuttavia è comunque divergente per rendere più graduale il passaggio dell'onda dalla luce verso il diffusore, e quindi tanto vale considerarlo un primo stadio di questo.

La sua lunghezza si può considerare pari a $L2 = 0,22 - 0,030 LT$, con un diametro della sezione di entrata pari a quello del condotto di scarico, che a sua volta deve riportare l'area netta della luce ad un profilo circolare. Per



Iniziamo ora la "storia" della messa a punto di un sistema di scarico, per portare un esempio concreto di quanto sia necessario fare e dei risultati ottenuti: questo è lo schema dello scarico originale di un 125 stradale di qualche anno fa, che univa una potenza (alla ruota) di circa 26-27 CV a poco meno di 10000 giri, ad un'ottima guidabilità.



Successivamente si è provato questo scarico, caratterizzato dalle misure un poco più spinte nella prima parte e nell'ultima: come risultato globale la potenza è aumentata di un paio di CV con circa 500 giri di regime in più.

motori che privilegiano la pienezza di erogazione, il diametro equivalente può essere maggiorato di un fattore 1.05-1.11, ma si tratta di affinamenti da riscontrare al freno. La sezione di uscita del tratto L2 si ricava introducendo l'angolo di semi-apertura α , che per questo tratto ha valori compresi tra 1° e 2° , privilegiando la potenza pura quest'ultimo; per impieghi stradali e/o motori di cilindrata unitaria elevata (> 125) non conviene superare $1^\circ-1,4^\circ$.

Il diametro finale si calcola come $D=d+(L \times 2 \times \tan \alpha)$, con l'avvertenza di non combinare valori elevati di α che di $2L$, per non arrivare a valori eccessivi per $D2$. In pratica, "L2" corto è proprio di motori molto spinti e

quindi con un valore di α elevato, e viceversa.

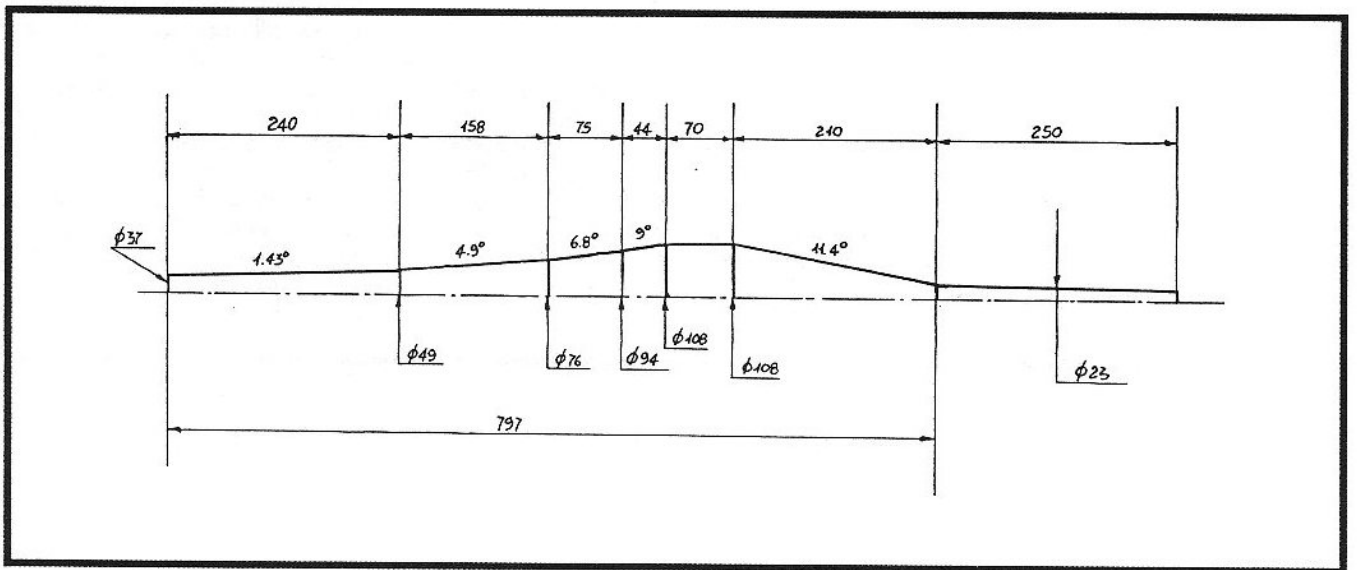
Il diffusore vero e proprio può essere a sua volta ripartito in una, due o più sezioni, caratterizzate da angoli di semi-apertura via via crescenti; tuttavia diffusori con più di due stadi sono propri di scarichi molto sofisticati, definiti accuratamente tramite prove al freno, oltre che su strada (si tratta di solito di mezzi da competizione). Per impieghi "normali" sono efficaci diffusori in un solo tratto, o in due al massimo; in questa seconda ipotesi, se le ripartizioni sono corrette si riesce ad irrobustire in qualche misura la parte centrale della caratteristica, senza sacrificare il picco di potenza. Per un diffusore singolo si può assume-

re una lunghezza $L3+L4 = 0.27LT$, ed un angolo di semi-apertura da 4° a $6,5^\circ$.

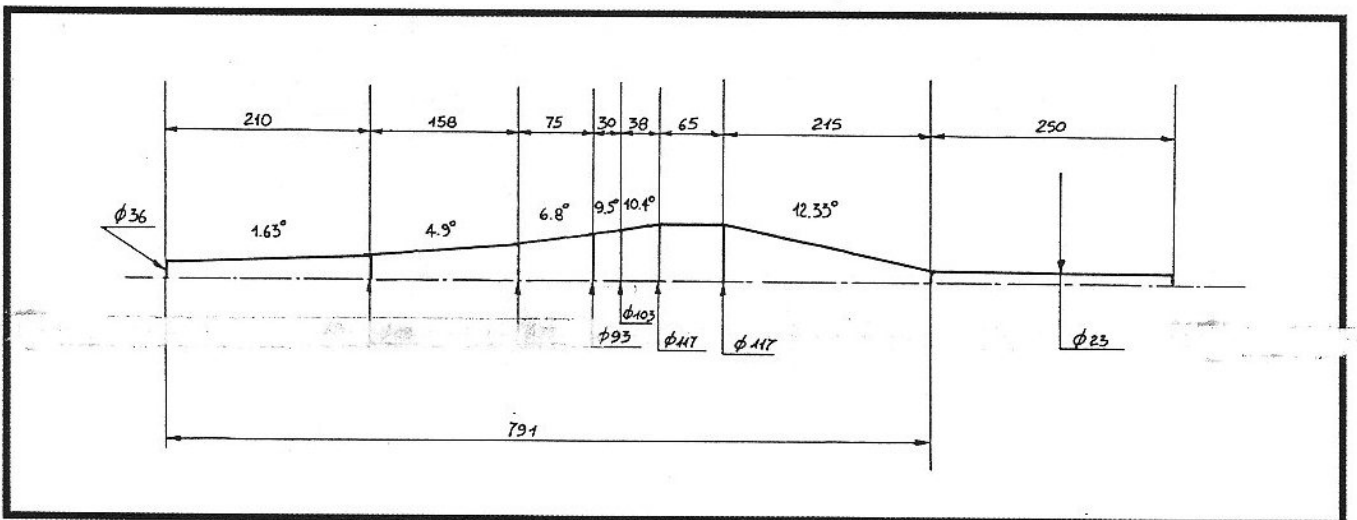
Vale il discorso fatto circa il primo tratto dell'espansione: valori grandi dell'angolo sacrificano la trattabilità del motore, per cui se non si deve girare in pista (o sul crossodromo naturalmente) non conviene superare i 6° (sempre in linea di massima).

Per un diffusore in due sezioni, si ripartiscono le lunghezze intorno a 0.20LT per L3, e 0,15LT per L4.

Aumentando la quota riservata ad L3 a scapito di L4 si ritorna verso la condizione di diffusore "chiuso", per cui spesso la parte cruciale della messa a punto dello scarico diventa proprio trovare una corretta suddivisione



Come ulteriore evoluzione si è adottato questo impianto, che a fronte di un nuovo aumento della potenza massima (circa 31-32 CV a 11000 giri) imponeva una rivisitazione del cambio, per adattare alle caratteristiche del motore divenuto molto "nervoso" la guida della moto, spiccatamente sportiva.



Per esasperare ancora le caratteristiche del motore si è impiegato anche questo scarico, che è una evoluzione del precedente in senso... negativo: scartato dopo poche prove in quanto l'erogazione della potenza diventava impossibile da gestire (non dimentichiamo che si sta trattando un mezzo stradale) e la riduzione eccessiva della lunghezza (già al limite per quello precedente) impediva di raggiungere facilmente il regime di potenza massima.

delle lunghezze dei vari tratti, dal primo fino all'ultima sezione del diffusore. In questo caso gli angoli di semiapertura possono un poco aumentare, da 4° a 6° per il primo settore, per arrivare a 7°-8,5° per il secondo. Naturalmente anche per questi pezzi i diametri si calcolano come in precedenza: $D3=D2 + (2 \times L3 \times \tan \alpha)$, e così via fino al diametro massimo dell'espansione D4.

Per controllare la correttezza del procedimento, può valere la pena di verificare che il diametro massimo D4 sia pari a 2,5-3,3 volte il diametro iniziale D1, sempre con la norma che valori bassi sono propri di propulsori molto elastici ma a scapito della potenza specifica (per esempio un grosso mono da enduro).

In effetti si può giocare entro limiti abbastanza grandi con il valore di D4, anche, talvolta, per consentire un agevole passaggio dello scarico sulla moto, perché oltre i 120 mm di diametro la "pancia" comincia davvero a diventare ingombrante - e non è detto che sia efficace.

Il tratto centrale L5 ha forma cilindrica, ed in genere si tratta della parte in cui si sviluppano eventuali curvature dopo il tratto iniziale. Ovviamente $D5=D4$,

e si arriva a completare la lunghezza totale con $L5=0.11L$ (ma con margini estremamente variabili), e con il tratto convergente pari a $L6=0.24L$.

In effetti esistono anche convergenti in più sezioni, che riprendono all'opposto quanto visto per il diffusore, ma si tratta di casi abbastanza rari, per lo meno nei propulsori "normali", per cui non li prendiamo in considerazione ed arriviamo al diametro di uscita (lo "Spillo") con una conicità β che varia da 8° a 12°, con una grande concentrazione di valori intorno ai 10°-11°.

Quando si disegna questa sezione si devono bilanciare due esigenze: adottare il corretto angolo di semiapertura β ed arrivare al diametro finale D6 (che discuteremo oltre) con la lunghezza imposta L6, necessaria per non ottenere una marmitta troppo lunga, essendo fissato LT.

Variazioni della lunghezza, imposto l'angolo, si recuperano solitamente con il tratto precedente, L5, che molte volte ha proprio la funzione di "distanziale" interposto tra la fine del diffusore e l'inizio del convergente.

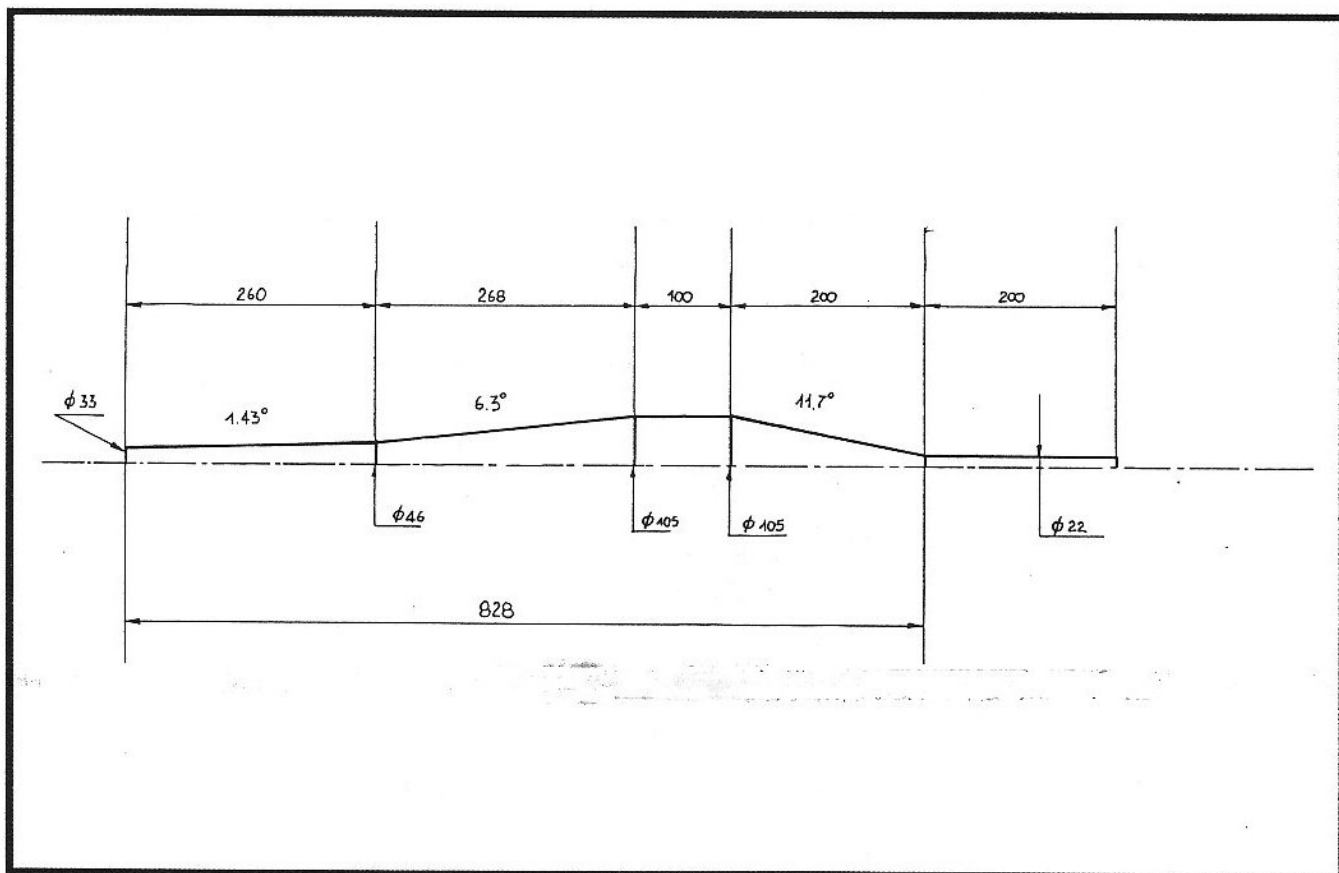
Per quanto riguarda la scelta degli angoli β caratteristici di questo tratto, si è visto che questo parametro influisce

quasi esclusivamente sulle capacità di "allungo" del propulsore, a scapito di un lieve appiattimento della caratteristica.

L'ultimo tratto è lo "spillo", un pezzo di tubo cilindrico lungo circa come L6: quindi, in linea teorica, $L7=L6$. Dal momento però che si tratta del tratto terminale, che confluisce nel silenziatore, spesso si è costretti ad adattare la sua lunghezza alle caratteristiche architettoniche della moto.

In linea di principio lo spillo serve per creare all'interno della espansione la giusta contropressione allo scarico, necessaria per il buon funzionamento: quindi se è troppo strozzato (tubo piccolo o troppo lungo) il motore aumenta la sua temperatura di funzionamento, viceversa si può rilevare anche un calo di prestazioni del sistema di scarico se all'opposto il gas viene evacuato troppo rapidamente con un tubo corto o dal diametro eccessivo. Sull'effetto dello spillo influisce anche la presenza di un silenziatore più o meno chiuso.

Come traccia si può impiegare un tubo dal diametro (interno) pari a 0.65-0.701, compatibilmente con la disponibilità in commercio del diametro calcolato. ■



Finalmente si è in un certo senso ritornati indietro, verso una maggiore semplicità con questo impianto, che realizza un ottimo compromesso tra potenza (circa 33 CV a 11000 giri) ed erogazione della medesima, che consente una guida del mezzo divertente. Naturalmente non è ancora finita...