

DISTRIBUZIONE DESMODROMICA

Giovanni Lelli

5^a B Meccanica



Indice

- Desmodromic distribution (introduction) p. 3
- Storia p. 4 - p. 5
- Distribuzione e fasi dei motori a quattro tempi p. 5 - p. 7
- Distribuzione p. 8
- Distribuzione desmodromica (vantaggi e svantaggi rispetto ai sistemi comunemente utilizzati) p. 8 - p. 10
- Distribuzione SOHC p. 10
- Camme (generalità e tipologie di camme) p. 10 - p. 11
- Cedenti p. 12
- Valvole p. 12 - p. 13
- Albero a camme p. 14 - p. 16
- Disegno p. 17 - p. 18
- Studio della camma di apertura scarico p. 18 - p. 20
- Bibliografia p.21
- Disegno al CAD tridimensionale

Desmodromic distribution

The object of my project is the desmodromic distribution of the engine of Ducati Monster 696 2V, particularly I draw of the parts that make up the desmodromic system through a tridimensional design software, then I realized the assembled of the desmo thanks to the same software.

I have chosen this topic because I have always been interested in the world of cars and motorbikes, especially in the Italian products that are famous and envied worldwide.

But as I did not know the function of desmodromic, which currently distinguishes Ducati motorcycles from all the others, I wanted to study it in depth.

Desmodromic distribution

The name "desmodromic" comes from the Greek words "desmos" and "dromos" that mean controlled and stroke.

The desmodromic distribution, simply called desmo, is a system that controls the opening and the closing of valves which replace the springs in the closing phase.

The heart of the desmodromic distribution is the cam shaft, on the shaft there are the cams needed to transmit specific laws of motion to the elements that are in contact to.

Storia

Il Desmo fu ideato dall'inventore parigino Claude Bonjour che ne depositò il brevetto a Ginevra il 1° aprile 1893, chiamandolo "desmodromique".

Il brevetto fu ripreso e migliorato nel 1896 dal tedesco Gustav Mees e successivamente dallo stesso Bonjour, rendendo possibile l'applicazione di questo sistema su diversi motori automobilistici già nel primo ventennio del XX secolo.

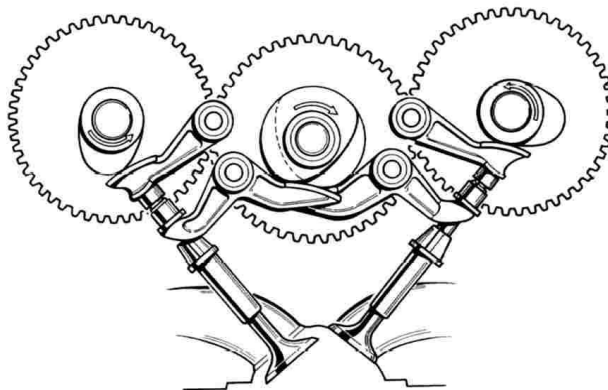
Il desmo venne applicato ai modelli sportivi o particolarmente lussuosi per i quali il maggior costo di produzione e i frequenti oneri di manutenzione imposti dal sistema stesso non avevano una forte incidenza.

La distribuzione desmodromica fece il suo ingresso nel mondo dell'automobilismo nel 1910 sull'inglese Arnott; successivamente ci provarono Peugeot (1912), Delage (1914), Isotta Fraschini (1916), seguì poi Mercedes, che riuscì a vincere il Campionato del Mondo di F1 nel 1954 grazie ad un prototipo che utilizzava la distribuzione desmodromica, ma nessuna in campo automobilistico giungerà alla produzione di serie per la complessità delle lavorazioni e per i costi proibitivi dei materiali.

Il desmo venne perfezionato in Italia: nel 1954 l'ingegnere Fabio Taglioni iniziò a lavorare alla Ducati e due anni dopo, nel 1956, realizzò il suo progetto di distribuzione desmodromica per motore motociclistico.

Il debutto del desmo su una motocicletta Ducati avvenne in Svezia nel 1956 grazie alla 125 GP che montava per la prima volta una distribuzione desmodromica a tre alberi a camme in testa.

Sull'albero centrale erano calettate le camme di "chiusura", che, tramite bilancieri a doppio braccio, comandava le valvole nel movimento verso l'alto, mentre i due alberi laterali, a singola camma, provvedevano all'apertura.



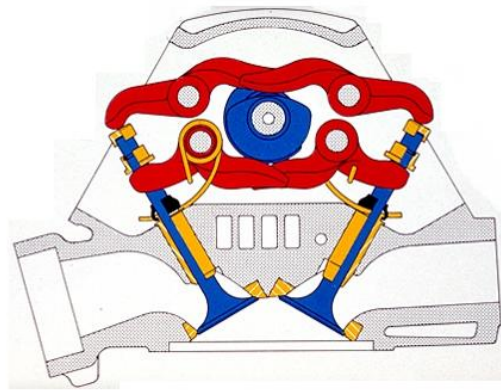
Distribuzione desmodromica a tre alberi a camme in testa

Taglioni quindi non fu l'ideatore della distribuzione desmodromica, fu però in grado di interpretare ed applicare ai motori motociclistici questo sistema.

Quando l'esperienza accumulata fu sufficiente si ebbe la prima grande evoluzione: il passaggio da tre alberi a camme ad uno.

Nel 1968 uscì infatti la Ducati Mark 3 desmo con motore monocilindrico (350 cc) a distribuzione desmodromica monoalbero: la Ducati introdusse il desmo nella produzione di serie.

Attualmente la distribuzione desmodromica è utilizzata esclusivamente dalla Ducati, che la applica ad ogni modello, compresi i prototipi.



Distribuzione desmodromica Ducati

Distribuzione e fasi dei motori a quattro tempi

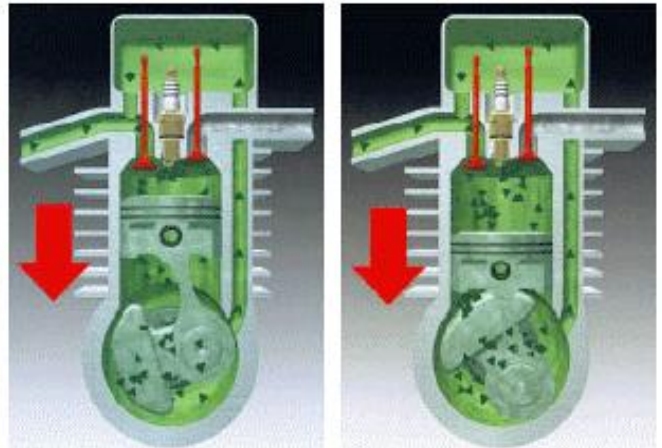
Con 'distribuzione' si intende tutto quel complesso di aperture e chiusure dei condotti di alimentazione e di scarico che consentono, con la loro giusta ritmicità, lo svolgimento delle fasi descritte nel ciclo teorico. Il ciclo termodinamico del motore a quattro tempi si sviluppa completamente in due rotazioni dell'albero motore secondo quattro fasi.



ASPIRAZIONE

Nella prima fase la biella compie la prima corsa ed il pistone scende dal 'punto morto superiore' (P.M.S.) al 'punto morto inferiore' (P.M.I.), la valvola di aspirazione, però, deve aprirsi prima che il pistone raggiunga il P.M.S. perchè la sua apertura è più lenta rispetto alla movimentazione del pistone; se il pistone iniziasse la sua discesa verso il P.M.I. quando la valvola è ancora chiusa si creerebbe una forte depressione che farebbe aumentare l'energia necessaria per permettere la movimentazione del pistone stesso.

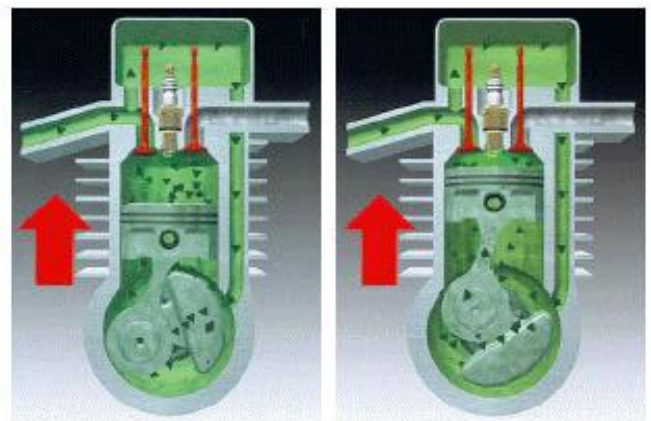
Durante la discesa del pistone si crea una forte depressione nella camera di combustione che consente alla miscela aria-benzina di fluire dal carburatore al cilindro stesso.



Apertura della valvola di aspirazione e discesa del pistone dal P.M.S al P.M.I.

COMPRESSIONE

In questa fase la biella compie la seconda corsa, la valvola di aspirazione si chiude ed il pistone sale dal P.M.I. al P.M.S comprimendo la miscela di combustibile ed aria nella zona compresa fra il pistone stesso e la testata (camera di scoppio); in questa fase la miscela raggiunge una temperatura superiore ai 250° C.



Chiusura della valvola di aspirazione e salita del pistone dal P.M.I al P.M.S durante la fase di compressione.

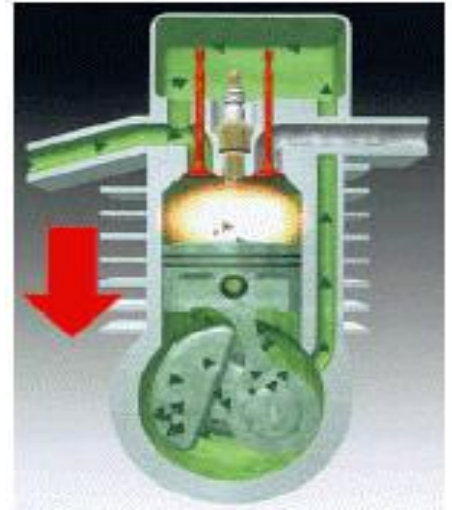
ACCENSIONE ED ESPANSIONE

La terza fase inizia quando si innesca una scintilla che scocca tra gli elettrodi di una candela.

La scintilla scocca in un preciso istante, poco prima che il pistone abbia raggiunto il 'punto morto superiore' in modo da sfruttare al meglio il picco massimo di pressione.

Questa fase è l'unica di tutto il ciclo ad essere 'attiva' ovvero l'unica che produce lavoro utile in quanto il pistone viene spinto verso il 'punto morto inferiore' dall'energia prodotta dalla combustione (la biella compie la terza corsa).

La combustione provoca un innalzamento della temperatura, fino a 2000° C, e della pressione, oltre 30 bar.

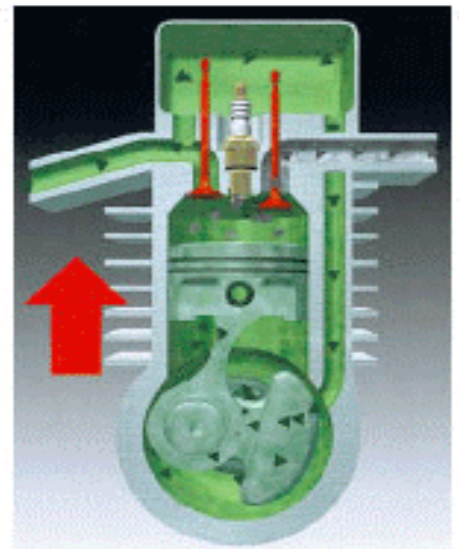


Combustione della miscela in seguito grazie alla scintilla e movimento del pistone dal P.M.S. al P.M.I.

SCARICO

La valvola di scarico si apre prima che il pistone raggiunga il 'punto morto inferiore' in modo da permettere l'uscita spontanea dei gas.

Una volta sceso completamente, il pistone risale (la biella compie la quarta corsa) spinto dal movimento degli altri pistoni o nel caso di motori monocilindrici per effetto della inerzia (scarico forzato), espellendo i gas esausti della combustione attraverso l'apertura delle valvole di scarico che fanno evacuare il gas combusto dal cilindro preparandolo ad un nuovo ciclo.



Scarico forzato dei gas esausti grazie alla movimentazione del pistone (dal P.M.I al P.M.S.) con la valvola di scarico aperta.

Durante le quattro fasi, la biella ha effettuato quattro corse in due rotazioni complete dell'albero motore e la distribuzione ha effettuato due fasi, aspirazione e scarico.

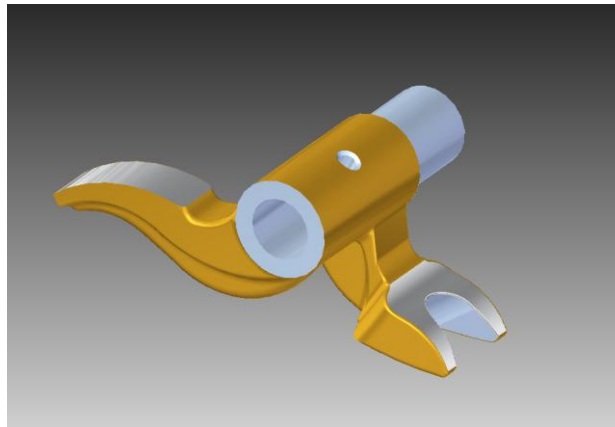
Distribuzione

In tutti i motori 4T, l'apertura delle valvole è comandata da una camma che, agendo direttamente sullo stelo della valvola o tramite un bilanciere, la spinge verso l'interno del cilindro. La chiusura della valvola si ottiene solitamente tramite l'azione di una molla di richiamo, montata coassialmente alla valvola stessa.

Tale gestione del ritorno delle valvole presenta l'indiscusso vantaggio derivato dalla semplicità costruttiva, ma in motori particolarmente performanti anche una serie di limiti.

Distribuzione desmodromica

In un motore a distribuzione desmodromica, invece, anche la chiusura della valvola è comandata attraverso l'azione di una camma, e di un bilanciere "a forchetta".



Bilanciere a forchetta

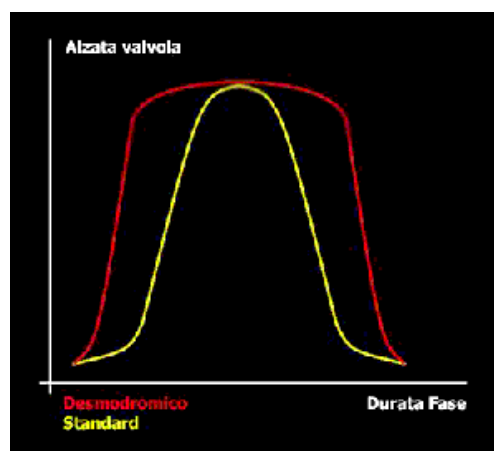
Vantaggi

Il sistema desmodromico assorbe molta meno energia per il suo funzionamento rispetto ad un sistema tradizionale, andando a migliorare le prestazioni del motore, perché non deve vincere la forza di reazione della molla e questo è tanto più rilevante quanto più è performante il motore.

La potenza del motore è legata anche al regime che questo può raggiungere e quindi più è elevato il regime al quale si vuole tendere, più rigide dovranno essere le molle delle valvole affinché possano garantire un ritorno sufficientemente rapido, maggiore sarà la potenza richiesta per vincere la rigidità della molle.

L'assorbimento dato dagli attriti tra gli elementi risulta essere proporzionale al numero di giri del motore, cosa che permette ad un sistema desmo, di avere minori perdite ai bassi e medi regimi mentre la molla utilizzata nei sistemi tradizionali deve essere tarata per le condizioni di massimo carico quindi la forza che questa imprime è sempre la stessa, anche ai bassi regimi.

Grazie al desmo è possibile impiegare diagrammi di distribuzione molto spinti, impensabili per un sistema tradizionale: il diagramma di un motore desmo, evidenzia una maggiore velocità di apertura e chiusura delle valvole rispetto al sistema tradizionale, conseguentemente le valvole possono rimanere per più tempo alla massima apertura.



Alzata della valvola

Nei motori che utilizzano la distribuzione desmodromica scompare il pericolo dello "sfarfallamento", dannoso fenomeno che si manifesta agli alti regimi quando la forza esercitata dalla molla di richiamo non è più sufficiente a mantenere il contatto tra camma e valvola; il desmo permette di ottenere un'estrema precisione nel modo in cui vengono guidate le valvole: il loro movimento non si scosta da quello previsto in sede di progetto nemmeno ad elevati regimi.

Si ottengono così miglioramenti nel flusso dinamico dei fluidi sia in aspirazione che allo scarico e quindi maggiore performance del propulsore.

Svantaggi

Gli svantaggi che presenta la distribuzione desmodromica riguardano principalmente i maggiori costi rispetto ai sistemi tradizionali; gli alti costi sono dovuti ad una maggiore difficoltà nella fase di progettazione e nella fase di realizzazione ma anche quelli imposti dalla manutenzione.

I costi sono elevati perché di ogni camma devono essere definite l'alzata e l'ampiezza di fase che questa imprime alla valvola, studiandola dal punto di vista cinematico e da quello dinamico.

Rispetto al normale sistema di richiamo mediante molle, si ha un costo maggiore nella realizzazione dell'albero a camme.

La presenza di giochi dovuti all'usura o la dilatazione termica di alcuni particolari potrebbe portare a problemi legati alla non perfetta chiusura delle valvole, creando perdite di potenza; per ovviare a questo problema possono essere introdotte delle molle di richiamo del bilanciamento di chiusura.

La molla presente in un sistema desmodromico è una molla a basso carico a differenza di quelle presenti nei sistemi tradizionali.

Ci sono però lati negativi in tutto ciò, ovvero che la realizzazione di questo tipo di meccanismo è molto delicata, difficile da applicare, con una maggiore manodopera e con costi molto più elevati rispetto agli altri sistemi.

Distribuzione SOHC (Single Over Head Cam Shaft)

Questa è la tipologia della distribuzione desmo trattata, nella quale si fa uso di un solo albero a camme sopra la camera di combustione ossia nella parte superiore della testa e per aprire e chiudere le valvole si fa uso di bilancieri.

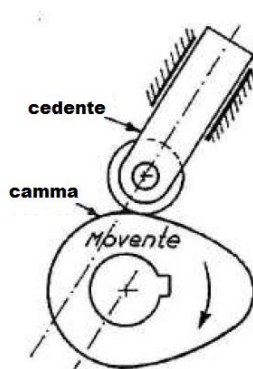
Questo sistema è quello più utilizzato nel caso delle distribuzioni desmodromiche in quanto, rispetto alle soluzioni che prevedono due o tre alberi, ha minor peso e volume.

Tra gli svantaggi si deve sottolineare la presenza di punteria più complessa rispetto ai sistemi DOHC (sistema che prevede due alberi a camme) ed un limitato accesso alla candela.

Camme

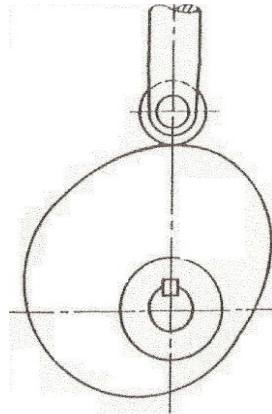
Le camme sono i lobi sagomati che permettono di imprimere al cedente determinate leggi di moto.

Nel caso della distribuzione desmodromica trattata il moto del movente è rotatorio continuo mentre il cedente (bilanciere) si muove con moto oscillatorio attorno ad un asse.



Camme a disco

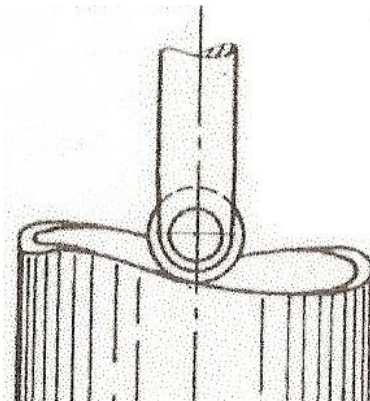
Le camme a disco hanno la superficie esterna sagomata per imprimere al cedente la legge di moto desiderata, la camma ruota attorno ad un asse perpendicolare al piano del disco stesso.



Camma a disco

Camme frontali

Il profilo di questa tipologia di camma si sviluppa sulla superficie frontale di un cilindro sulla quale poggia il cedente.

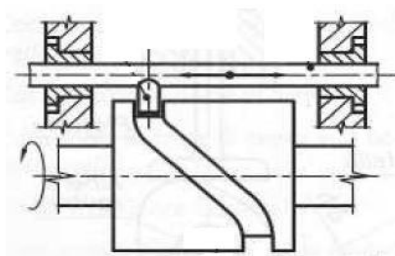


Camma frontale

Camme a tamburo

Il profilo della camma a tamburo si sviluppa sulla superficie esterna di un cilindro sulla quale viene ricavato una scanalatura.

Il cedente (perno o rullino) viene inserito nella scanalatura e trasmette all'asta che è ad esso collegata un moto alternato.



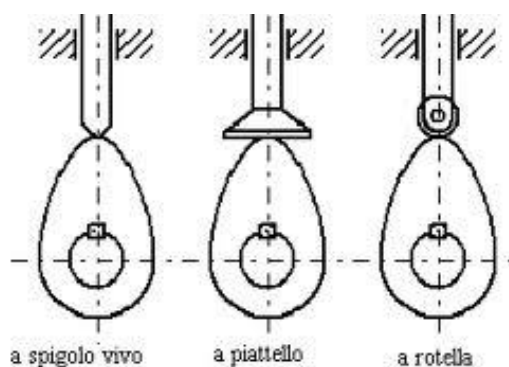
Camma a tamburo

Cedenti

Il cedente può avere un moto traslatorio (punteria) o un moto oscillatorio (bilanciere).

Punteria

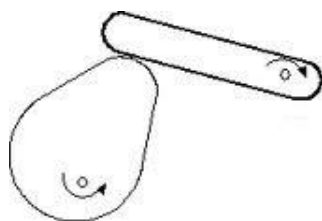
Sono elementi che trasmettono il movimento rotatorio della camma trasformandolo in lineare alternato.



Esempi di punteria

Bilancieri

Sono elementi interposti tra i lobi dell'albero a camme e la valvola che trasformano il moto rotatorio della camma in oscillante, e possono ampliare l'effetto dell'eccentricità dei lobi.



Camma e bilanciere

VALVOLE

La funzione delle valvole nel motore a combustione è quella di regolare l'afflusso dei gas freschi e il deflusso dei gas combusti nel cilindro durante le diverse fasi del ciclo mettendo in comunicazione, al momento opportuno, il cilindro con il collettore di aspirazione e con il collettore di scarico. Il ciclo richiede quindi due valvole, una di aspirazione e una di scarico.

In alcuni motori moderni sono spesso quattro o addirittura cinque valvole per cilindro con lo scopo di incrementare le prestazioni del motore.

Tra i requisiti di funzionamento delle valvole è richiesta la resistenza a temperature di esercizio di circa 700-800° C, inoltre le valvole devono consentire un veloce passaggio dei gas e assicurare una perfetta tenuta nel periodo in cui il flusso deve essere interrotto.

La massa delle valvole deve essere contenuta al minimo indispensabile per consentire al motore di raggiungere un elevato regime di rotazione.

Tutte queste caratteristiche essenziali pongono dei vincoli relativi sia alla geometria che ai materiali utilizzati.

Le valvole a fungo utilizzate nel sistema desmo ducati sono costituite da una testa a forma di fungo che può essere piatta o convessa e da uno stelo che è la parte che scorre nella guida.

La superficie di tenuta ovvero quella che, quando la valvola è chiusa, va a poggiare sulla sede, è tronco conica con un'inclinazione di 22°.

La valvola a sede conica si è affermata nei sistemi di distribuzione per la buona tenuta, la facilità di lavorazione richiesta nella sua fabbricazione e la resistenza alle deformazioni.

Le valvole a fungo vengono realizzate utilizzando una lega chiamata invar, una lega metallica composta principalmente di ferro (64%) e nichel (36%), con tracce di carbonio e cromo, scoperta dal fisico svizzero Premio Nobel Charles Edouard Guillaume.

L'invar non ha buone proprietà meccaniche ma ha un coefficiente di dilatazione termica dieci volte minore dell'acciaio, per questa ragione viene utilizzata anche per altri dispositivi meccanici di precisione: orologi, dispositivi di laboratori di fisica, sismografi.



Valvola a fungo

Albero a camme

L'albero a camme è costituito di acciaio del tipo 39 Ni Cr Mo 3 e viene sottoposto ai trattamenti di bonifica e nitrurazione per resistere all'usura, alla fatica e alle sollecitazioni di torsione e flessione.



IMS S.p.A.
acciai speciali

39NiCrMo3

Normativa di riferimento UNI 7845
Reference Standard UNI 7845

Corrispondenze Comparable standards

SIAU	DIN	W.N.	AFNOR	BS	AISI/SAE
NCM2	(36CrNiMo4)	(1.6511)	(40NCD3)	-	(9840)

Composizione Chemical analysis

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P e S
.35±.43	.50±.80	.15±.40	.60±1.00	.70±1.00	.15±.25	≤ .035

Temperature per la lavorazione a caldo ed il trattamento termico Hot work and heat treatment temperatures

Punti critici Critical points	Fucinatura Forging	Normalizzazione Normalization	Ricottura subcritica Subcritical annealing	Ricottura isotermica Isothermal annealing	Tempra Hardening	Rinvenimento Tempering
Ac1 740					810±880	
Ac3 790	1100±900	850±880	650±700	↓	830±860	550±650
Ms 330				650x3h	olio / oil	

Caratteristiche meccaniche / Mechanical properties

Stato Condition	Saggio Ø mm. Specimen Ø mm.	Re min. N/mm ²	Rm N/mm ²	A min. %	KCU min. J	Durezza HB allo stato HB hardness in the following conditions
Bonificato Hardened and tempered	16	785	980±1180	11	30	Ricotto lavorabile / Soft-annealed ≤ 240
	> 16	735	930±1130	11	30	Ricotto isoteramico / Isothermal annealed 180±240
	> 40	685	880±1080	12	30	Ricotto sferoidale / Spheroidal annealed ≤ 206
	> 100	635	830±980	12	30	
	> 160 ≤ 250	540	740±880	13	30	

Temprabilità Hardenability

HRC / % Martensite		Diametro temprabile mm. / Hardenable diameter mm.	
90%	50%	olio / oil	acqua / water
53	42	85	120

Bonifica

Il trattamento termico di bonifica è composto dai due cicli termici di tempra e rinvenimento di bonifica.

Il trattamento termico di tempra consente di ottenere una struttura martensitica grazie ad una velocità di raffreddamento, di un acciaio allo stato austenitico, maggiore rispetto alla velocità critica di tempra.

La martensite è una soluzione solida interstiziale sovrassatura di carbonio in ferro alfa: se il raffreddamento è sufficientemente veloce l'atomo di carbonio presente al centro della cella del ferro gamma non riesce ad uscire dal reticolo nel quale si trovava.

Un acciaio temprato ha un'elevata durezza e resistenza meccanica ma ha anche bassi valori di allungamento percentuale e resilienza.

Per eliminare le tensioni interne di un pezzo temprato e migliorarne la resilienza si esegue un rinvenimento; se la temperatura di rinvenimento è compresa fra i 400° C e i 650° C il trattamento prende il nome di rinvenimento di bonifica.

Il materiale che costituisce l'albero a camme contiene tracce di molibdeno che evitano la comparsa del fenomeno chiamato fragilità al rinvenimento, per il quale su alcuni acciai contenenti cromo, nichel o manganese rinvenuti ad una temperatura compresa fra i 300° C e i 450° C si verifica una apprezzabile diminuzione della resilienza e dell'allungamento percentuale.

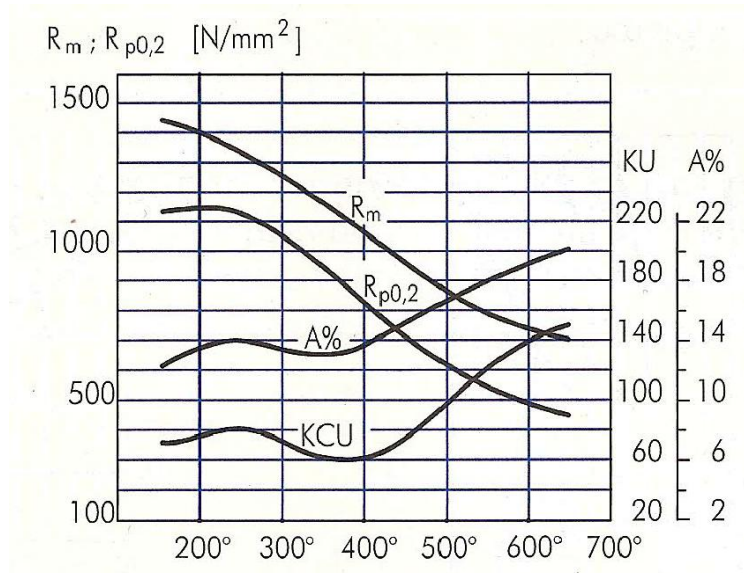


Grafico che evidenzia il fenomeno della fragilità al rinvenimento

La struttura che si ottiene in seguito ad una bonifica è un miscuglio di ferrite e cementite chiamata sorbite che mantiene elevati valori di durezza e resistenza meccanica ma incrementa notevolmente la resilienza e l'allungamento percentuale.

Nitrurazione

La nitrurazione (UNI 5478) è un trattamento termochimico di indurimento superficiale condotto a temperature comprese fra 500°C e 560°C su acciai, in condizioni tali da consentire una diffusione di azoto nella superficie del materiale.

Lo scopo di questo trattamento è quello di ottenere uno strato superficiale, con una profondità di pochi decimi di millimetro, molto duro con valori di durezza HV 1100, resistente all'usura adesiva, all'abrasione meccanica e alla corrosione.

Il mezzo nitruante utilizzato può essere un'atmosfera gassosa a base di ammoniacca (nitrazione gassosa), un gas a base di azoto allo stato di plasma (nitrazione ionica o al plasma) o un bagno di sali fusi a base di cianuri (nitrazione in bagno di sali).

Per eseguire un trattamento di nitrazione gassosa (il metodo più utilizzato) su un acciaio, questo deve essere posto in un ambiente contenente ammoniacca anidra che in presenza del ferro, il quale funge da catalizzatore, si dissocia secondo questa reazione: $2\text{NH}_3 \leftrightarrow 2\text{N} + 3\text{H}_2$.

La permanenza alla temperatura di nitrazione, che può durare da poche ore a diverse decine di ore, permette all'azoto formatosi di legarsi con il ferro e con gli altri elementi di lega formando nitruri complessi senza creare deformazioni.

La nitrazione gassosa è un trattamento composto da 2 fasi:

- Prima fase: si verifica a circa 500 °C e l'azoto si combina con il ferro dando origine ad una coltre bianca.
- Seconda fase: avviene ad una temperatura prossima a 560 °C ed inizia la diffusione dell'azoto agli strati sottostanti.

Disegno

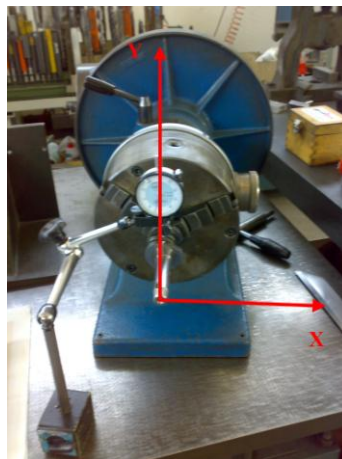
Per poter disegnare l'albero di distribuzione utilizzando il software "Solid Edge ST3" è necessario conoscere le leggi matematiche che caratterizzano le camme; dal momento che non ne sono a conoscenza, per poter rappresentare le sagome ho utilizzato la funzione "Curva per tabella".

Per ottenere i dati relativi alle geometrie delle camme ho montato l'albero su un divisore e successivamente ho rilevato la variazione del raggio, utilizzando un comparatore, ad ogni rotazione di 2° .



Divisore e comparatore utilizzati per rilevare i dati

In questo modo ho ottenuto 180 valori di raggio per ogni camma, poi ho fissato un sistema di riferimento e grazie alle formule trigonometriche seno e coseno ho ricavato le coordinate di ogni punto.

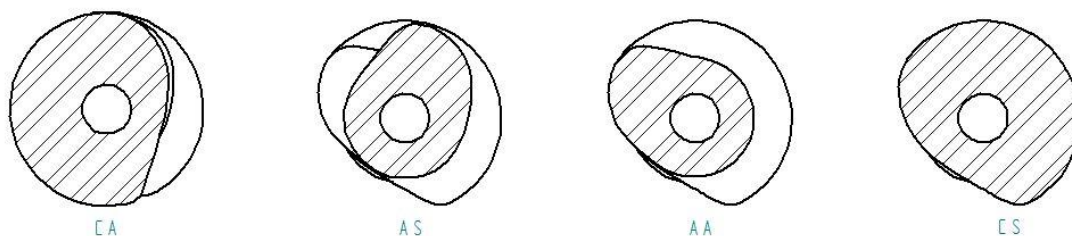
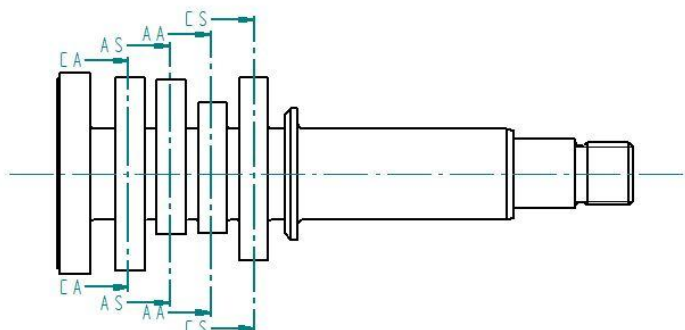


Assi di riferimento

Indicando con α l'angolo misurato rispetto all'asse x e con h la variazione del raggio rispetto al raggio base, espressa in millimetri, ottengo:

$$x_\alpha = h \cdot \cos \alpha$$

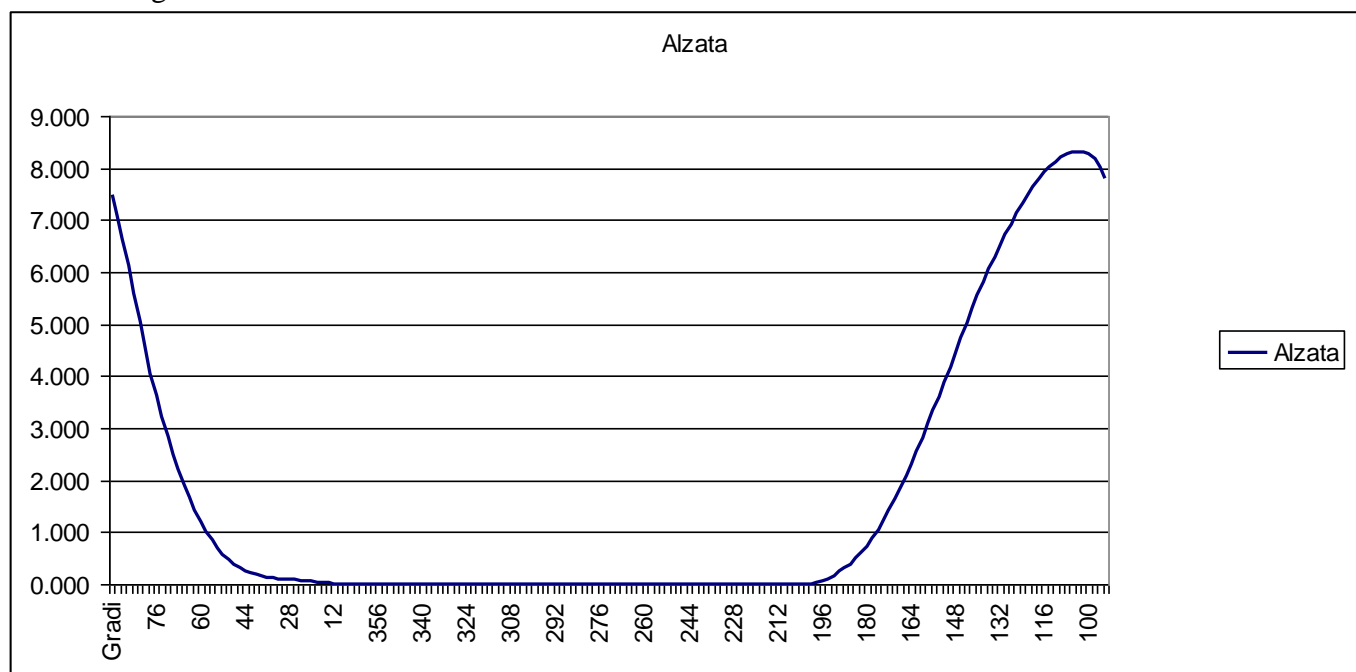
$$y_\alpha = h \cdot \sin \alpha$$



Albero a camme

Studio della camma di apertura scarico

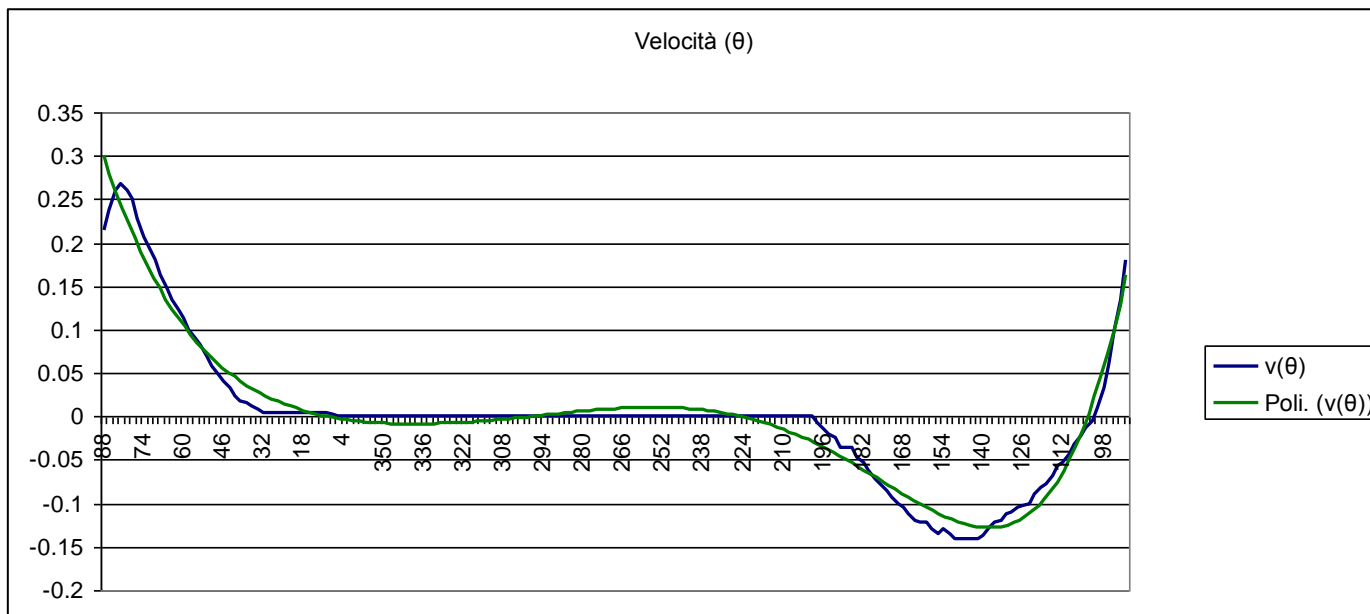
Dopo aver disegnato l'albero mi sono occupato della camma di apertura dello scarico, per prima cosa ho realizzato il grafico delle alzate.



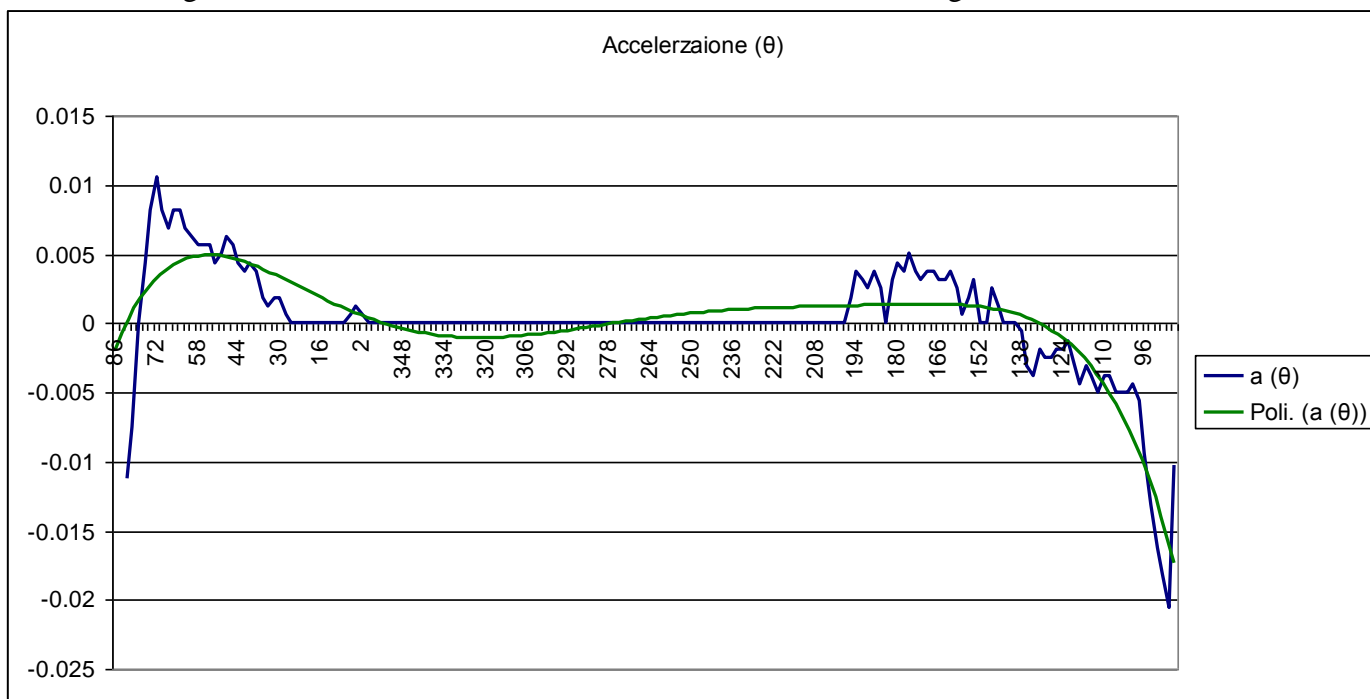
Le strumentazioni a mia disposizione erano un divisore con sensibilità di 2° e un comparatore la cui lettura minima è di 0,01 millimetri, quindi le rilevazioni non sufficientemente precise né numerose per determinare la geometria di una camma.

Per determinare la velocità $\frac{ds}{dt}$ con la quale si muove il cedente, è necessario conoscere la velocità di rotazione dell'albero a camme, considerando che io non ne sono a conoscenza, ho potuto determinare la velocità in funzione dell'angolo $[v(\theta)]$; la velocità che ho trovato è determinata a meno di un coefficiente $\frac{d\theta}{dt}$, che rappresenta la velocità angolare e quindi può essere variabile.

Per disegnare il grafico della velocità ho calcolato la media dei coefficienti angolari delle rette passanti per i punti P_n , P_{n-1} e P_n , P_{n+1} .



Per le stessi ragioni l'accelerazione che determino risulta avere lo stesso significato.



Analizzando i grafici si osserva che quello relativo alla velocità è ben approssimato da una polinomiale di sesto grado mentre quello dell'accelerazioni si discosta parecchio dalla linea di tendenza.

Per determinare i punti del grafico della velocità ho eseguito poche operazioni elementari (media di due valori ottenuta come divisione fra due differenze), mentre per realizzare quello relativo all'accelerazione ho eseguito le stesse operazioni ma utilizzando i dati della velocità, valori sui quali l'errore si era già propagato; di conseguenza i punti che determinano il grafico dell' accelerazione sono influenzati maggiormente dagli errori.

Bibliografia

- Lezioni di meccanica applicata alle macchine E. Funaioli, A. Maggiore, U. Meneghetti
- Manuale di meccanica a cura di L. Caligaris, S. Fava, C. Tomasello
- Meccanica applicata C. Pidotella, G. Aggradi, D. Pidotella
- Dal progetto al prodotto L. Caligaris, S. Fava, C. Tomasello

Siti web consultati

- <http://www.unipd.it>
- <http://ied.eng.unipr.it>
- <http://www.unibo.it>
- <http://www.museodellavalledellidice.it>
- <http://www.ducati.it/storia>
- <http://it.wikipedia.org>