

Politecnico di Milano –Facoltà di Ingegneria industriale

Corso di laurea in Ingegneria meccanica

Sedi di Piacenza

Anno accademico 2003-2004

**Corso di Laboratorio Progettuale di Disegno Assistito dal
Calcolatore**

Prof. Ing. Umberto Cugini, Ing. Paolo Magni

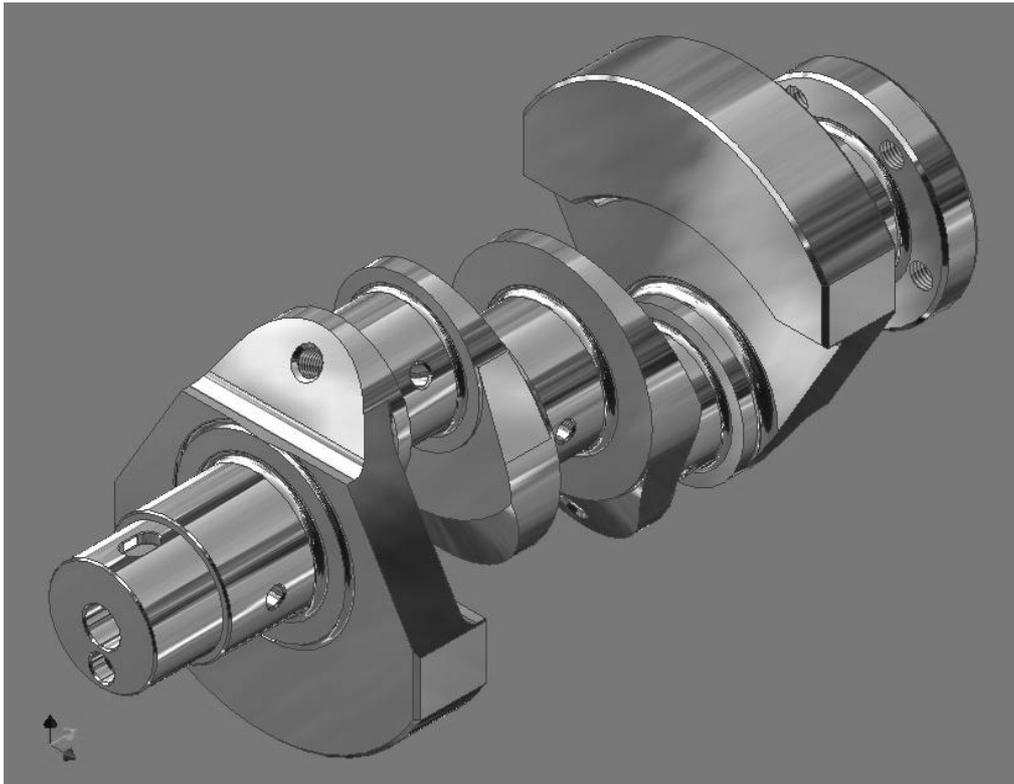
PROGETTO D'ANNO

GRUPPO No.

11

<i>Nome</i>	<i>Cognome</i>	<i>Matricola</i>
Matteo	Argellati	654393
Mauro	Mescoli	653797
Michele	Olivari	654528

Modellazione albero motore B.R.D.

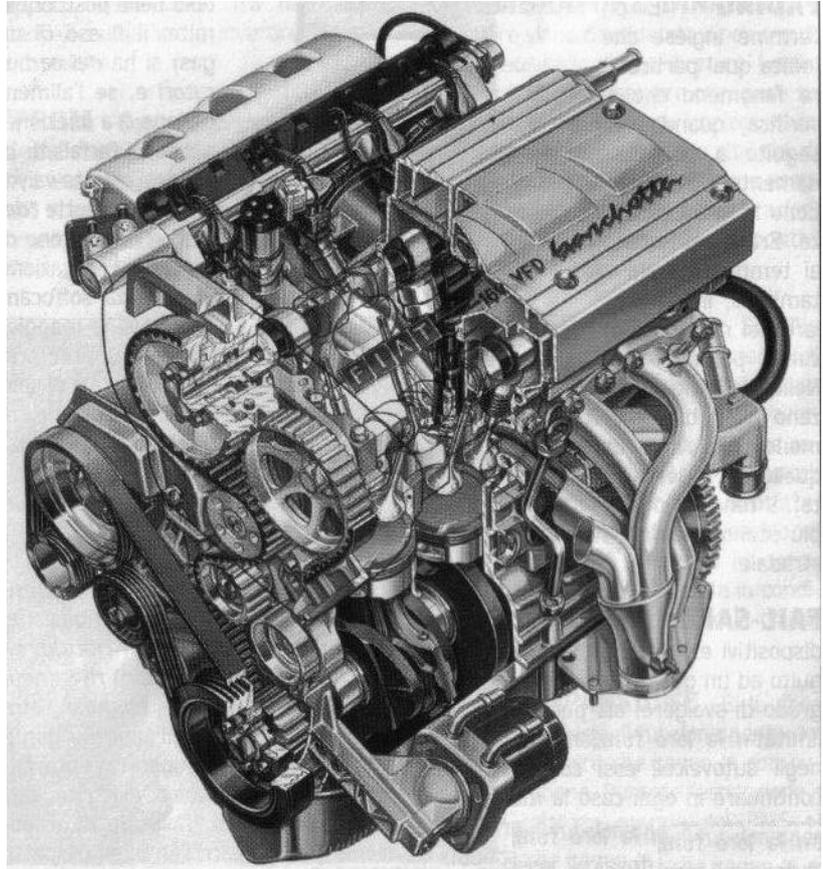


Sommario

<i>Cos'è un motore</i>	3
<i>Cos'è un albero</i>	3
<i>L'azienda</i>	4
<i>Progetto di partenza</i>	4
<i>L'interfaccia di progettazione e la parametrizzazione interna</i>	5
<i>Modellazione</i>	6
<i>Parametri</i>	6
<i>Costruzione interfaccia di progettazione</i>	6
<i>Sito</i>	6
<i>I software</i>	7
<i>Inventor</i>	7
<i>Autocad</i>	7
<i>Microsoft Paint</i>	7
<i>Microsoft Excel</i>	7
<i>Macromedia Dreamweaver Mx</i>	7
<i>Possibili sviluppi</i>	7

Cos'è un motore

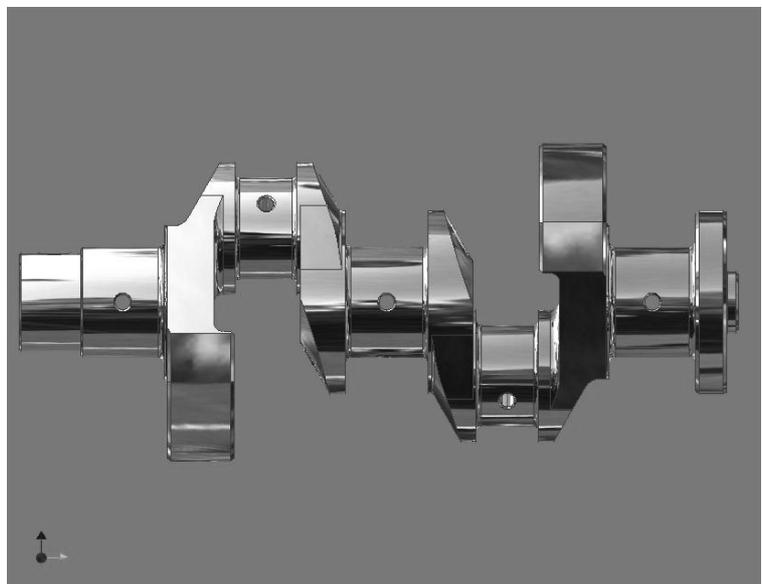
Un motore è una macchina termica capace di trasformare l'energia chimica derivante dalla combustione di alcune sostanze (la maggior parte di queste derivate dal petrolio). Nel nostro caso ci occuperemo di motori a combustione interna a ciclo otto e Diesel. In questi motori (in cui troviamo alberi motore simili a quello approfondito nel nostro studio) è presente una camera dove avviene l'immissione, la compressione, l'accensione e l'espansione della miscela aria-combustibile. Le pareti di questa camera sono formate dal cilindro, dalla testa e dal cielo del pistone, componente mobile di moto armonico che trasferisce l'energia alle ruote (nel caso degli autoveicoli). Per trasformare il moto oscillante armonico nel moto rotatorio che ci serve, è



indispensabile l'albero motore. Un esempio semplificato del movimento delle parti meccaniche del motore è mostrato nel filmato realizzato con il programma CAD utilizzato per modellare l'albero (è inoltre visibile il modello del nostro albero).

Cos'è un albero

E' l'organo meccanico rotante e dotato di una serie di manovelle per mezzo del quale il movimento dei pistoni (collegati all'albero per mezzo di bielle) viene inviato al volano (organo meccanico passivo costituito da un grosso disco che ha il compito di prelevare energia nei momenti attivi e di restituirla per inerzia nei momenti in cui non sono presenti espansioni per aiutare l'albero a completare le rotazioni). Gli alberi motore vengono realizzati in acciaio (per fucinatura) oppure in ghisa a grafite sferoidale (per fusione) e sono dotati di una serie di



perni di banco perfettamente coassiali che poggiano, tramite interposizione di cuscinetti a guscio sottile, sugli appositi supporti dei quali è dotato il basamento. I perni di manovella, ai quali sono collegate (anche in questo caso con interposizione di cuscinetti a strisciamento o gabbie a rulli) le bielle, sono uniti ai perni di banco dai bracci di manovella. Per poter ruotare senza dar luogo ad inammissibili vibrazioni, l'albero a gomiti (sinonimo di albero motore) deve essere accuratamente equilibrato; si impiegano a tal fine dei contrappesi ricavati unitamente ai bracci di manovella, dalla parte opposta ai perni di biella. L'impiego di perni di banco e di biella di rilevante diametro, unitamente all'adozione di corse (pari al doppio della distanza dell'asse dei perni di biella dall'asse dei perni di banco) piuttosto contenute, consente di ottenere alberi dotati di grande rigidità grazie al "ricoprimento" che si può avere tra i perni stessi. La disposizione dei perni di manovella è legata al numero di cilindri e all'architettura del motore. Sovente nei motori a V su ogni perno di manovella lavorano affiancate due bielle. I perni dell'albero devono essere dotati di una elevata durezza e presentare una rugosità superficiale estremamente ridotta; essi sono uniti agli spallamenti (ovvero i bracci di manovella) mediante adeguati raggi di raccordo oppure mediante rullatura. L'albero a gomiti è di norma attraversato da una serie di canalizzazioni interne che hanno la funzione di far arrivare l'olio in pressione dai cuscinetti di banco ai cuscinetti di biella. I margini dei fori di queste canalizzazioni devono essere accuratamente svasati. Ad un'estremità dell'albero motore è fissato il volano (al quale è vincolato il complessivo della frizione), mentre all'estremità opposta sono usualmente piazzati il pignone o la puleggia dentata di comando della distribuzione e la puleggia per la cinghia che comanda i dispositivi accessori. Un esempio semplificato del montaggio e del posizionamento delle parti di un motore è mostrato in questo filmato realizzato con il programma CAD utilizzato per modellare l'albero (è inoltre visibile il modello del nostro albero).

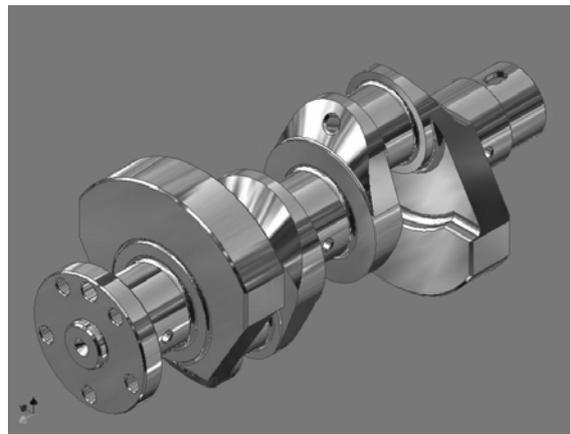
L'azienda

Il progetto è nato con una collaborazione con la ditta B.R.D. di Vicofertile, a pochi chilometri da Parma, che si occupa di progettazione di motori per conto di importanti aziende. Ci è stato fornito un solo foglio AutoCad dal quale abbiamo sviluppato tutto il lavoro.

Progetto di partenza

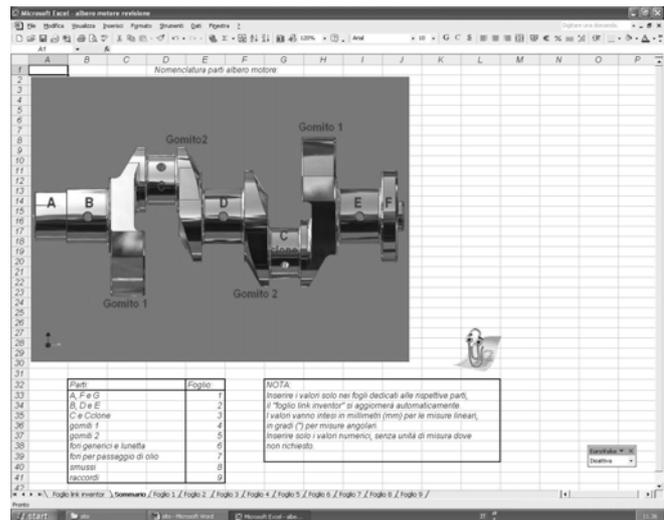
Ci è stato consegnato un file AutoCad con il prospetto 2D di un albero motore. A prima vista si è trattato di un disegno piuttosto complesso, con poche viste, alcune quote mancanti e con quelle esistenti non molto ordinate; tuttavia col passare del tempo si è presa confidenza con il "tratto dell'autore" e si è proceduto con più fluidità. Nel pacchetto consegnatoci pensavamo fosse anche incluso il volano o le bielle per costituire una parametrizzazione tra i componenti ma così non è stato. Non abbiamo potuto parametrizzare l'albero secondo valori di potenza e coppia (che non ci sono stati trasmessi) e non avendo dati e competenze necessarie non abbiamo valutato

una eventuale riprogettazione del pezzo, che molto probabilmente sarebbe risultata inadeguata e fondata su parametri basati più sull'estetica e/o all'alleggerimento che sulla vera funzionalità. Allora ci siamo concentrati sull'ideazione di qualcosa di alternativo ma a nostro avviso molto utile.

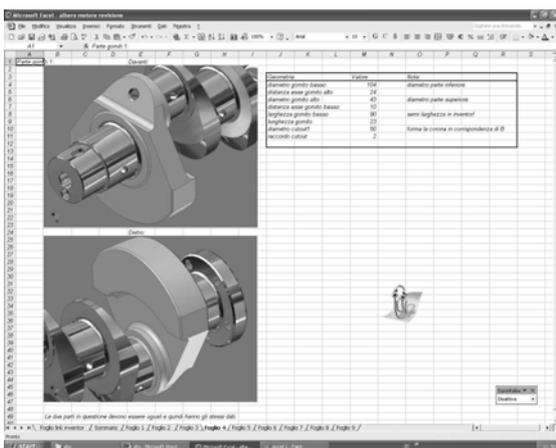


L'interfaccia di progettazione e la parametrizzazione interna

La nostra idea è quella di facilitare la modifica e la revisione di un componente che deve subire cambiamenti e migliorie. Immaginiamo di avere un prodotto destinato, con opportune modifiche, a più utilizzi (in questo caso per motori di architetture e cilindrate diverse come per un differente volano) o semplicemente da innovare (come potrebbe essere il lavoro di un tuner che progetta per le competizioni): il lavoro del tecnico (che può anche essere il disegnatore), già impegnato in calcoli strutturali e nuove idee, sarebbe notevolmente allungato dal rintracciare nel modello i parametri e gli sketch interessati. Immaginiamo poi se un bravo ingegnere, però



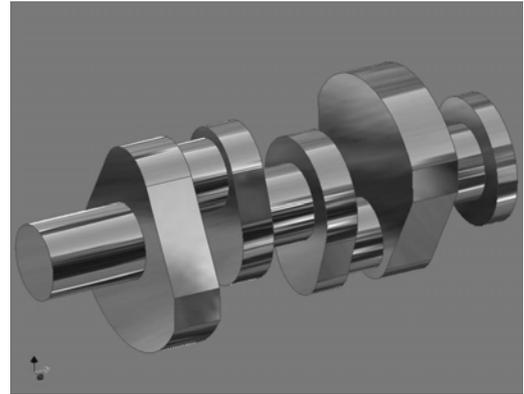
poco pratico nell'uso di un particolare software adottato da un'azienda, debba ricercare tutti i comandi, creando allungamento nei tempi di progettazione e ampliando le possibilità di eventuali errori. Entra allora in gioco la nostra proposta: un'interfaccia di progettazione. Nel nostro caso è un file Excel particolarmente pratico e di facile comprensione. Abbiamo creato per ogni parte dell'albero una pagina dedicata, provvista di disegni che mostrano la parte che si va a modificare, in cui si possono cambiare i parametri del pezzo. Quindi dopo aver effettuato i calcoli per la modifica del modello basta inserire i nuovi valori numerici nelle tabelle dedicate per averne una rimodellazione appropriata. Con un bel risparmio di tempo! Tuttavia questo lavoro non si basa solamente sulla possibilità di cambiare alcuni parametri: il pezzo, dopo aver inserito le modifiche, deve naturalmente mantenere proporzioni e geometrie originali che devono garantire le precedenti qualità; sarebbe inutile cambiare l'altezza del gomito se il suo spessore si riducesse di conseguenza! Abbiamo quindi fatto un attento lavoro di parametrizzazione che, cambiando alcuni parametri indipendenti, possa influire su altre quote in proporzione. Abbiamo calcolato più di 180 parametri sul solo albero motore. Non avrebbe avuto senso proporre un'interfaccia che permetta di cambiare ognuno di questi parametri: il guadagno di tempo per la progettazione non sarebbe stato così



grande. Per capire di quanto si sia ridotto il numero dei parametri che si possono modificare mettiamo alcuni dati: il numero di variabili indipendenti si è ridotto da 190 a 82 con ben 58 valori destinati alle lavorazioni finali (fori, raccordi e smussi) che non pensiamo siano oggetto di tante modifiche. Così con soli 24 parametri destinati alle geometrie "di base" si può cambiare il nostro albero! Pensiamo inoltre che se le aziende, quando si disegna un nuovo modello, promuovessero la creazione di questa interfaccia, i tempi generali di modifica, ma anche di revisione generale delle quote, si ridurrebbero parecchio migliorando la produttività e la chiarezza fra i reparti.

Modellazione

Il problema principale è stato il riuscire a comprendere l'andamento delle geometrie dei bracci di manovella. Abbiamo optato nel seguire le fasi di lavorazione reali; siamo partiti da semplici estrusioni (pari al semilavorato grezzo), per poi passare all'asportazione di materiale (tornitura, fresatura e rettifica). Come ultime abbiamo lasciato le lavorazioni finali: smussi, raccordi, fori e filettature. Abbiamo notato una certa inefficacia del programma Inventor che non riusciva a eseguire alcuni raccordi che abbiamo dovuto realizzare mediante cutout; inoltre i fori per il passaggio di olio che attraversano l'albero, sono stati compiuti mediante rivoluzione e non attraverso il comando specifico "foro" poiché ne era impossibile la parametrizzazione: il piano ad esso perpendicolare non si inclinava e spostava automaticamente variando le altre quote alla quale era stato fissato.



Parametri

Parallelamente alla modellazione solida abbiamo provveduto a nominare ciascuna quota e a renderla parametrica rispetto a parti indipendenti. Il lavoro è stato lungo: con ben 190 parametri è sempre stata più difficoltosa la ricerca di alcuni nomi; un difetto rilevante di Inventor è stato che la pagina dei parametri, oltre a non avere uno scroll automatico, ogni volta che si aggiornava ritornava alle dimensioni originali. Oltre a ciò sarebbe stata utile la possibilità di stampare la tavola parametri per avere la situazione sotto controllo, purtroppo non è stato fattibile. Laborioso invece è stato lo studio per l'assegnazione delle funzioni di parametrizzazione in modo da mantenere certe geometrie.

Costruzione interfaccia di progettazione

Dopo aver trascritto tutti i parametri di link nella prima pagina siamo passati al sommario, provvisto di un'immagine molto chiara e da una tabella che rimanda alle diverse pagine del file. Ogni pagina presenta più immagini con evidenziate le parti da modificare. Queste sono state realizzate grazie a Paint e salvate in JPG. Ad ogni parte è associata una tabella contenente i valori numerici che possiamo cambiare; automaticamente si cambiano anche i rispettivi valori nella pagina di link. Osserviamo che per le geometrie di base sono riservate le prime cinque pagine, mentre le restanti quattro sono per le lavorazioni finali (fori, raccordi, ecc.). Abbiamo cercato di curare innanzitutto la semplicità e la chiarezza della nostra interfaccia.

Sito

Abbiamo pensato innanzitutto alla semplicità e alla accessibilità del sito. Dopo aver costruito un'homepage di introduzione siamo passati alla creazione dell'indice che rimanda a tutte le pagine del sito. Un'operazione questa più necessaria che facoltativa poiché abbiamo riscontrato problemi nella creazione dei frames all'interno delle pagine. Abbiamo realizzato due versioni del sito: una light e una destinata alla presentazione su personal computer (più completa e ricca di download).

I software

Inventor

Abbiamo utilizzato per la modellazione solida “Autodesk Inventor” con licenza accademica presente nei laboratori informatici della nostra sede universitaria. Pregi: interfaccia pulita e chiara, bella grafica, semplicità di utilizzo per semplici geometrie. Difetti: tavola parametri senza opzioni e scroll, macchinosità per certe features, problemi vari con sketch e features, pesanti difetti nel rebuild e nel mantenere fisse alcune quote. Non facile e intuitivo come SolidEdge nel link ai fogli di Excel.

Autocad

Usato solo per aprire il file del disegno originale, è presente anch'esso nei nostri laboratori informatici con licenza. Pregi: velocità di consultazione, comandi precisi, comandi distanza e quotatura efficaci. Difetti: grafica scadente e confusa, pulsanti comandi piccoli e non troppo facilmente individuabili.

Microsoft Paint

Usato per importare immagini del lavoro in formato JPEG e per eventuali ritocchi su queste. Pregi: facilità e velocità d'uso. Difetti: poche opzioni di modifica e salvataggio/compressione delle immagini.

Microsoft Excel

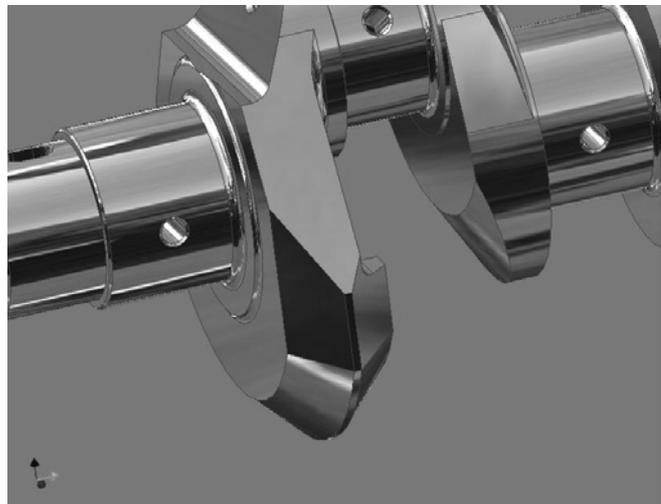
Usato per creare l'interfaccia di progettazione. Pregi: è un foglio elettronico completo e non troppo complesso. Difetti: alcune funzioni sarebbero meglio gestibili con barre degli strumenti adeguate.

Macromedia Dreamweaver Mx

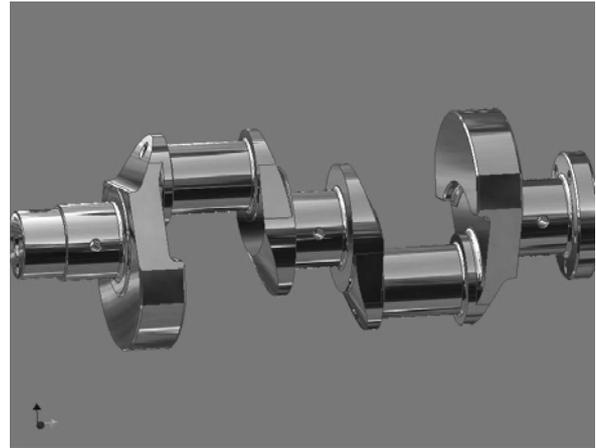
Usato per creare il sito internet. Pregi: è un programma completo, potente e immediato. Difetti: mancano barre degli strumenti che faciliterebbero e velocizzerebbero alcune funzioni. Abbiamo inoltre riscontrato alcuni problemi con la creazione dei frames.

Possibili sviluppi

Sarebbe utile secondo noi una forma dei bracci di manovella di impatto fluidodinamico minore: nel caso infatti della lubrificazione a bagno di olio si avrebbero piccoli (ma niente nella meccanica va trascurato!) incrementi di potenza dovuti alla minor dispersione di energia nel contatto con l'olio. Si tende poi ultimamente a concentrare i contrappesi dei suddetti bracci vicino all'asse dell'albero, per evitare eccessive torsioni e flessioni e limitare l'effetto volano, si potrebbe così utilizzare un materiale diverso e più pesante (con accoppiamenti a vite) che garantirebbe una maggior prontezza nel salire di giri e nello stesso tempo minor inerzia in rilascio.



Oltre all'utilizzo come bicilindrico abbiamo pensato anche all'impiego dell'albero in un quadricilindrico. Abbiamo utilizzato la nostra interfaccia di progettazione per cambiare alcuni parametri per arrotondare la corsa e per alloggiare due bielle per ogni perno di biella: avremmo così un quattro cilindri di circa 600cc. I valori di coppia e gli sforzi nei perni di banco sono riportati di seguito; i valori sono ipotizzati secondo standard di proulsori motociclistici di pari cilindrata. Non abbiamo potuto effettuare prove di rottura o fatica non conoscendo il materiale di costruzione dell'albero. Comunque questi valori potrebbero essere presi in considerazione per un eventuale scelta dei metalli di costituzione. Abbiamo ipotizzato inoltre due eventuali disposizione dei cilindri: una a V di 180° (non boxer, poichè ci sono due bielle per perno di biella) e una a V di 90°.



Il motore a V di 180° privilegerà la coppia con un erogazione brusca (come un bicilindrico avrà due scoppi simultanei) mentre quello a V di 90° avrà un erogazione più piena e lineare e votato a girare a regimi più elevati. Ipotizzando un alesaggio di 60mm:

- versione bicilindrica originale (parallela scoppi alternati) => cilindrata 271 cc.

Coppia media prevista 2,5 kgm = 24,5 Nm

Spinta media pistone = 0,5 kN / 2 = 0,25 kN

- versione quadricilindrica prova => cilindrata 600 cc.

Coppia media prevista 6,2 kgm = 60,8 Nm

Spinta media pistone = 1,1 kN / 4 = 0,275 kN

Sforzi nei perni di banco dovuti al momento torcente:

- Bicilindrico = $16 \cdot M_t / \pi \cdot d^3 \cong 2,67 \text{ kPa}$
- Quadricilindrico = $16 \cdot M_t / \pi \cdot d^3 \cong 6,64 \text{ kPa}$

Sforzi nei perni di banco dovuti all'azione tagliante:

- Bicilindrico: $16 \cdot P / 3 \cdot A \cong 3,2 \text{ kPa}$
- Quadricilindrico: $16 \cdot P / 3 \cdot A \cong 7 \text{ kPa}$

