

Il principio di funzionamento della testa-rotore

Tecnica Heli RC

(seconda parte)

A cura di Stefano Duranti

Nel numero precedente ci eravamo lasciati col mio elicottero virtuale che mostrava problemi di stabilità ed eccessivo comando, ed io mi ero riproposto di documentarmi sugli studi, gli esperimenti ed i risultati pratici ottenuti dai pionieri dell'ala rotante.

Devo dire che Internet si è dimostrata una vera e propria miniera di informazioni. Anni fa avrei dovuto fare ricerche poco fruttuose in biblioteche e librerie, alla ricerca di testi divulgativi su un argomento che definire di nicchia sarebbe un eufemismo. Grazie a questa nuova tecnologia invece, rimanendo comodamente seduto davanti al mio PC, ho potuto trovare moltissimi siti che mi hanno dato valide indicazioni sulla storia e lo sviluppo della tecnica elicotteristica nell'ultimo secolo. Per chi volesse saperne di più sull'evoluzione dell'elicottero da Leonardo da Vinci ai giorni nostri, consiglio come punto di partenza il sito dell'American Institute of Aeronautics and Astronautics, presso:

<http://www.flight100.org/history/helicopter.html>

Vediamo comunque di ritornare al mio problema e quindi di concentrarci sulle soluzioni proposte e sperimentate da chi già ci si era scontrato.

I primi spunti interessanti li ho trovati leggendo a riguardo del lavoro effettuato a partire dal 1928 da Arthur Young. Costui rappresenta uno strano connubio fra un ingegnere, un matematico ed un filosofo, e, pur essendo considerato una delle menti più brillanti del periodo, era anche un uomo estremamente pratico e che

soprattutto amava "sporcarsi le mani", realizzando meccanicamente, e quindi collaudando, le proprie idee.

Un'interessante biografia di A.Young la potete trovare presso il sito:

<http://www.arthuryoung.com>

Nel 1928, questo strano tipo rimase incuriosito dal fatto che, mentre l'aviazione ad ala fissa stava facendo progressi prodigiosi, nessuno era ancora riuscito a costruire un prototipo funzionante di elicottero.

Di tentativi n'erano stati fatti tanti, ma i risultati ancora non si vedevano. La sua idea vincente fu quella, ma guarda un po', d'iniziare a costruire e sperimentare piccoli modelli di elicotteri, per risparmiare tempo, materiali e, non ultimo, vite umane. Aveva infatti riscontrato che i precedenti progetti erano falliti perché dopo i primi inevitabili problemi e fallimenti i finanziatori delle imprese perdevano fiducia e ritiravano la loro "sponsorizzazione", o, nei casi più tragici, era addirittura lo sperimentatore che decedeva durante il collaudo. Accadeva così che le conoscenze acquisite andavano perdute ed in pratica ogni volta si doveva ricominciare quasi da capo.

Il primo problema da risolvere per Young fu come contrastare la coppia del rotore, che tendeva a far ruotare il corpo dell'elicottero non appena questo si alleggeriva sul terreno. La prima soluzione fu drastica: invece d'inserire un ulteriore piccolo rotore in coda, che poneva nuovi problemi di controllo, o di usare due rotori controrotanti, che avevano la sgradita tendenza ad urtarsi

l'un l'altro, adottò un rotore libero di girare sul proprio albero e che prendeva il proprio moto da piccole eliche poste in fondo alle pale.

In questo modo il problema veniva risolto alla radice, perché il rotore, con questa configurazione, non trasferiva alcuna coppia al corpo dell'elicottero. Adottò vari tipi di motorizzazioni: ad elastico, con motori elettrici od a scoppio. Ma la cosa che mi ha interessato maggiormente è il fatto che i suoi principali problemi furono causati dall'instabilità delle prime creazioni.

Non appena i suoi modelli iniziavano ad alzarsi da terra, s'inclinavano inesorabilmente da un lato sino a toccare con le pale a terra, tanto che dovette ricorrere all'aiuto di un amico, al quale insegnò l'arte di costruire pale in legno, visto che erano diventate un "materiale di consumo" e che lui era impegnato nella più nobile impresa di far evolvere meccanicamente la sua creatura.

Evidentemente l'hula-hoop non era ancora stato inventato! Dopo aver sperimentato vari metodi di controllo che non avevano dato i risultati sperati, Young ideò quello che gli avrebbe portato fama e successo nel mondo elicotteristico: la barra stabilizzatrice.

Questa gli permise, nel 1941, di mettere a punto il primo modello teleguidato capace di fare un hovering perfettamente sotto controllo anche all'aria aperta, e cioè sotto l'influenza del vento come fattore di disturbo. Quindi, se ci sentiamo dei fenomeni quando riusciamo a fare hovering con un elicottero comprato in kit già

montato e pieno di elettronica di controllo, pensiamo che nel '41 c'era già chi lo faceva con un qualcosa di autocostruito. Davvero demoralizzante!

Comunque la notizia dei risultati raggiunti da Young giunse sino a Larry Bell, titolare della Bell Aircraft Company, che da tempo era interessato ad investire nello sviluppo di un elicottero per riconvertire parte della sua azienda, impegnata allora nella costruzione di aerei militari. Inutile dire che fu una storia a lieto fine e che nel 1945 portò alla creazione del Bell 47, pietra miliare dell'aviazione a pala rotante, di cui esistono ancora moltissimi esemplari in servizio. Bene. Fine della storia, per quanto ci riguarda.

Questo lungo preambolo è servito solo per arrivare al nocciolo della questione: la barra stabilizzatrice di Bell, così come fu poi brevettata. Il pregio di questa soluzione consiste nel fatto che essa si comporta come una specie di autopilota meccanico, nel senso che reagisce autonomamente ad ogni variazione d'assetto dell'asse verticale applicando un comando di ciclico contrario, proprio come farebbe un pilota abile e molto rapido di riflessi. In questo modo la funzione pratica del pilota diventa finalmente dirigere l'elicottero piuttosto che combattere contro la sua natura intrinsecamente instabile. Vediamo in cosa consiste in pratica la barra di Bell, ma... prima devo mettere le mani avanti! I disegni che vedrete non rispettano le dimensioni tipiche degli organi di comando che si trovano nella realtà,

ma sono piuttosto fatti in modo da cercare di spiegarne il concetto di funzionamento meccanico, né saranno mostrati particolari secondari, come ad esempio ammortizzatori di comando, in quanto questi avrebbero complicato troppo la rappresentazione grafica del sistema e nascosto il nocciolo della questione. Iniziamo ad esaminare la figura 1: possiamo qui osservare la vista di fianco di una testa rotore fornita di barra di Bell, guardando con una pala che ci punta in fronte. Tale barra consiste in pratica in una specie di bilanciere montato ortogonalmente rispetto alle pale, ed imperniato in modo che possa oscillare usando come fulcro la vite indicata in azzurro sulla figura. Ai lati di tale bilanciere sono montati due pesi, che hanno la funzione di aumentare l'inerzia del sistema, e quindi la propria risposta alle variazioni dell'assetto del rotore. Ma iniziamo col cercare di capire come funzionano i comandi di collettivo e di ciclico, per poi analizzare come si ottiene la funzione stabilizzatrice. Di seguito mostrerò in figura anche i leverismi relativi alla seconda pala, in colore completamente grigio per non fare troppa confusione (spero). In figura 2 vediamo il comportamento del sistema quando

applichiamo il comando collettivo, ottenuto come al solito sollevando il piatto oscillante. In pratica la barra di Bell non s'inclina, perché riceve la stessa spinta da entrambi i lati. S'inclinano invece verso l'alto i due miscelatori e di conseguenza aumenta il passo di entrambe le pale. Il nome miscelatori deriva dalla loro funzione di miscelare il comando diretto, dato dal pilota tramite il piatto oscillante, con il comando correttivo, applicato dalla barra stabilizzatrice. Variando la lunghezza dei due bracci del miscelatore possiamo ottenere una risposta più o meno pronta al comando del pilota, e, contemporaneamente, una stabilizzazione minore o maggiore. In figura 3 vediamo cosa succede quando applichiamo comando ciclico, inclinando come al solito il piatto oscillante. In questo caso la barra stabilizzatrice sarebbe sollecitata ad inclinarsi, ma l'effetto della precessione giroscopica e dei pesi è quello d'irrigidire tale risposta, quindi viene più facile al sistema reagire senza inclinare tale barra, ma piuttosto alzando un miscelatore ed abbassando l'altro. In questo modo otteniamo proprio l'effetto di aumentare il passo di una pala e diminuire quello dell'altra. Spero che i disegni siano in

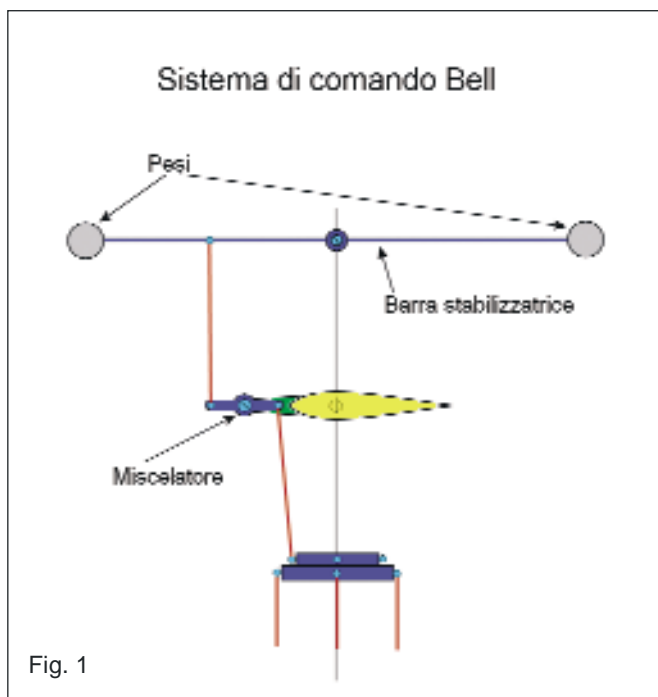


Fig. 1

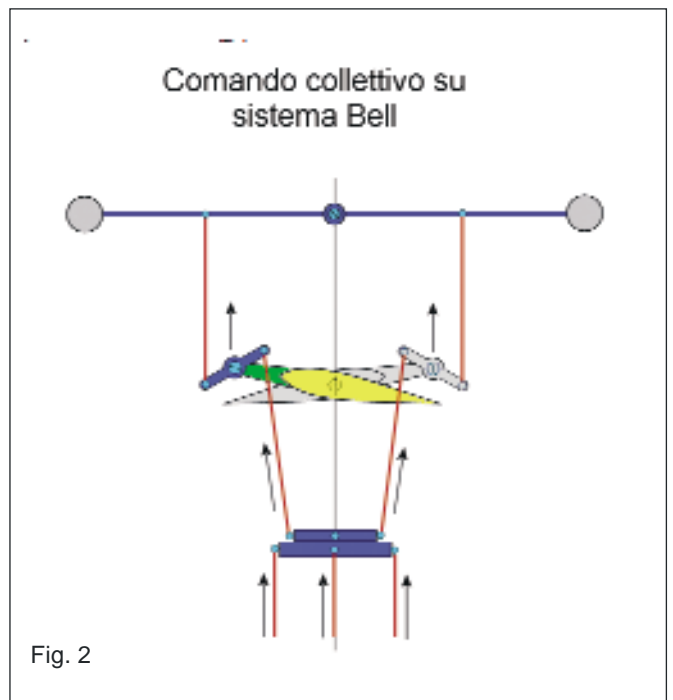
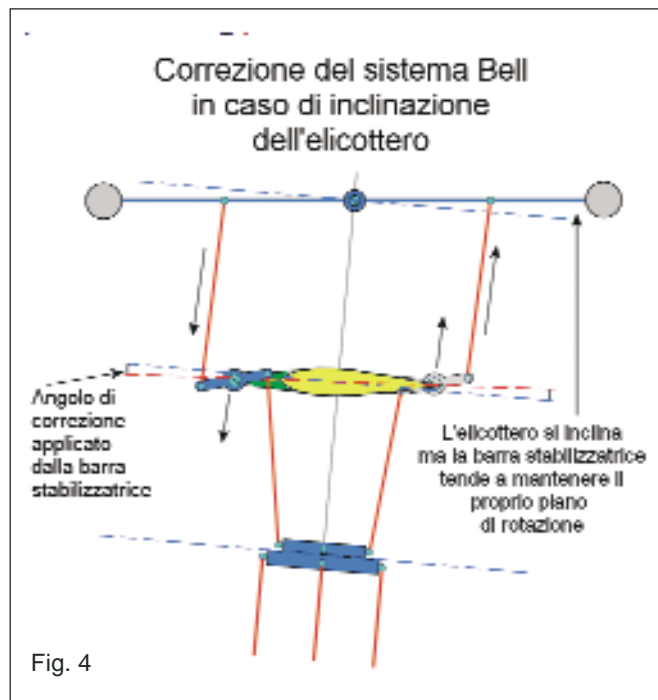
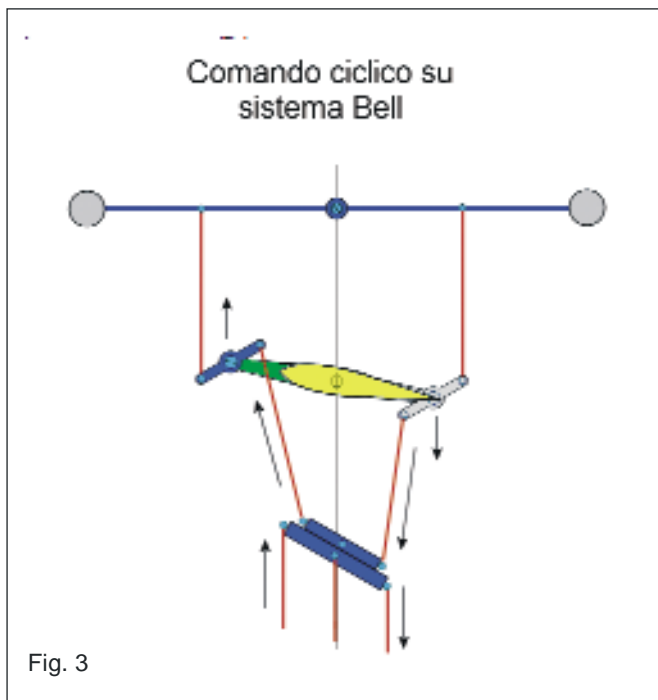


Fig. 2

grado di aiutarvi a comprendere, ma se siete già un po' cotti forse ci vuole un bel caffè prima di andare oltre. Infatti adesso abbiamo bisogno di un piccolo sforzo ulteriore, per capire come funziona l'effetto stabilizzante, stavolta con l'ausilio della figura 4. Prendiamo l'esempio del rotore che gira, dapprima bello regolare sul piano orizzontale, e cioè con l'albero perfettamente verticale. Tutto tranquillo. Adesso arriva una bella ventata da destra verso sinistra, che, spingendo sul corpo dell'elicottero che sta sotto, tende ad inclinarlo come mostrato in fig. 4. Come si comporta il nostro sistema? La barra stabilizzatrice, in virtù dei pesi all'estremità e del fatto che è libera d'inclinarsi rispetto all'albero del rotore, ha la spiccata tendenza a non variare il proprio piano di rotazione, continua cioè a rimanere orizzontale. Questo porta ad un comando che la barra applica tramite i miscelatori alle pale, variandone il passo. Infatti secondo il punto di vista del corpo dell'elicottero, è la barra che s'inclina e che quindi applica comando. La variazione di passo indotta è mostrata in figura 4 come l'angolo sotteso fra la linea tratteggiata blu e quella rossa.

Guarda caso, il comando dato dalla barra alle pale è proprio quello che avrebbe dovuto applicare il pilota, nel caso di mancanza di tale barra, per riportare in equilibrio il mezzo. Gran bel colpo, Mr. Young! Il metodo di controllo a barra di Bell è estremamente semplice ed efficiente, permettendo infatti di demandare quasi completamente il controllo della stabilità dell'elicottero sull'asse verticale ad un sistema interamente meccanico. Questo ha avuto un gran successo per gli elicotteri "full-size" (si legge "fullsize" e vuol dire "quelli veri") ed i risultati sono ottimi anche per i nostri modelli RC. Ma...c'è sempre un ma! I modellisti sono gente strana. Una volta che riescono ad emulare con loro creature il comportamento delle macchine riprodotte, chiedono sempre di più. E così ecco che gli elimodellisti si stufano di fare solo un bell'hovering ed un volato pulito e realistico, vedono gli aeromodellisti fare cose incredibili con i loro funfly, e vorrebbero imitarli. Cosa c'è che non va e che non permette ad un modello di elicottero dotato di barra di Bell di eseguire tali evoluzioni? Semplice: il metodo Bell è estremamente efficiente come controllo della stabilità, direi

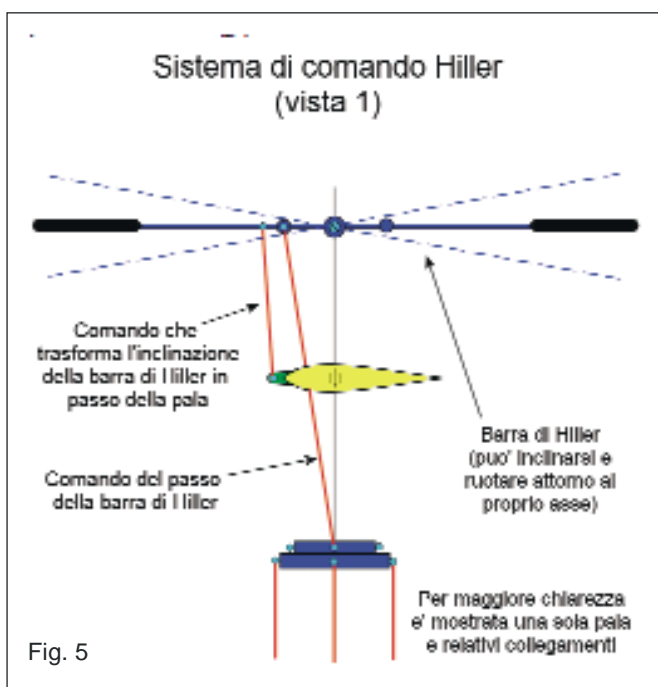


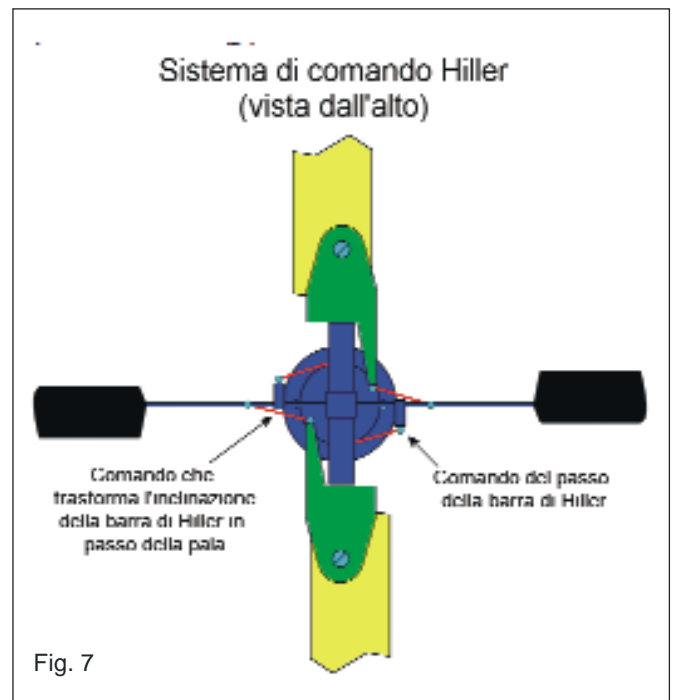
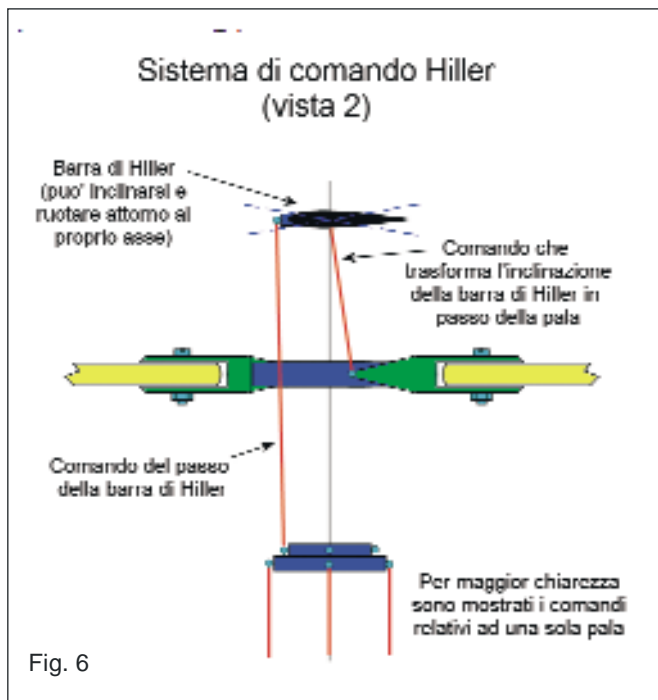
quasi troppo efficiente. La questione sta nel fatto che tale barra si oppone non solo alle variazioni d'assetto dovute a cause esterne, ma combatte ugualmente anche contro i comandi volontari impartiti dal pilota, diminuendone l'effetto. Ne consegue che con tale configurazione possiamo dimenticarci tonneaux veloci ed altre mirabolanti acrobazie. Come ovviare a questa frustrante limitazione? Calma e gesso, diceva mio nonno.

Non ho mai capito a cosa si riferisse di preciso, ma il significato era chiarissimo. Così, prima di ottenere le massime prestazioni acrobatiche, vi dovrete sorbire ancora un po' di storia dell'aviazione. Adesso prendetevi una pausa e leggete un altro articolo di questa rivista... Ah, che cretino! Dimentico che un articolo come questo viene letto (se viene letto) dopo che tutti gli altri ormai sono stati letti e riletti, compresa l'avvincente cronaca

della manifestazione alla "Sagra del Fagiolo di Spetazzo di Sotto", citando il nostro editore. Va beh, fate come volete, comunque è ancora dura: dobbiamo comprendere prima il lavoro fatto da Stanley Hiller, che, sempre in quegli anni, sviluppò un sistema di comando e di controllo alternativo alla barra di Bell. Per stavolta siete stati fortunati, infatti non ho trovato una documentazione biografica sufficientemente interessante su Hiller, e quindi vedrò di venire subito al sodo. Partiamo dalla figura 5, che mostra la solita vista di fianco della testa del rotore con la solita pala che ci punta in mezzo agli occhi, ed analizziamo le differenze che ci sono rispetto alla barra di Bell. Innanzitutto esaminiamo la barra. In questa configurazione essa viene convenzionalmente chiamata flybar, e cioè barra volante, perché non ha solo una reazione inerziale come nel caso di Bell, ma al posto dei pesi ha delle palette (paddles) che cambiano d'inclinazione e quindi provocano un comportamento attivo. Tale flybar infatti, oltre ad essere impernata come la barra di Bell, può anche ruotare su sé stessa sull'asse longitudinale, come mostrato in figura 6. In questo modo

si ottiene l'equivalente di un comando ciclico sulle sue palette, cioè se una aumenta di passo quella opposta diminuisce. Ed ecco che sia in figura 5 che 6 vediamo come l'unico comando che proviene dal piatto oscillante non vada direttamente alla pala come nei casi precedenti, ma intervenga direttamente solo sulla flybar. Esaminiamo prima in breve qual'è l'idea di funzionamento del comando ciclico: il piatto oscillante s'inclina e fa ruotare la flybar lungo l'asse della sua lunghezza (figura 6), quindi le palette della flybar cambiano alternativamente di passo e la fanno inclinare nel senso mostrato in figura 5, e qua, finalmente, vi è un tirante che comanda il passo delle pale. In figura 7 avete anche una vista dall'alto del marchingegno, più che altro utile per capire la forma della flybar e delle sue palette (nere). Questa è una spiegazione piuttosto brutale del funzionamento, giusto per iniziare a prendere confidenza col sistema di leverismi. Occorre però anche capire (se volete) come la precessione giroscopica influenzi il tutto. E qua interviene la ponderosa figura 8. Questa prende in considerazione il caso di comando ciclico a destra.



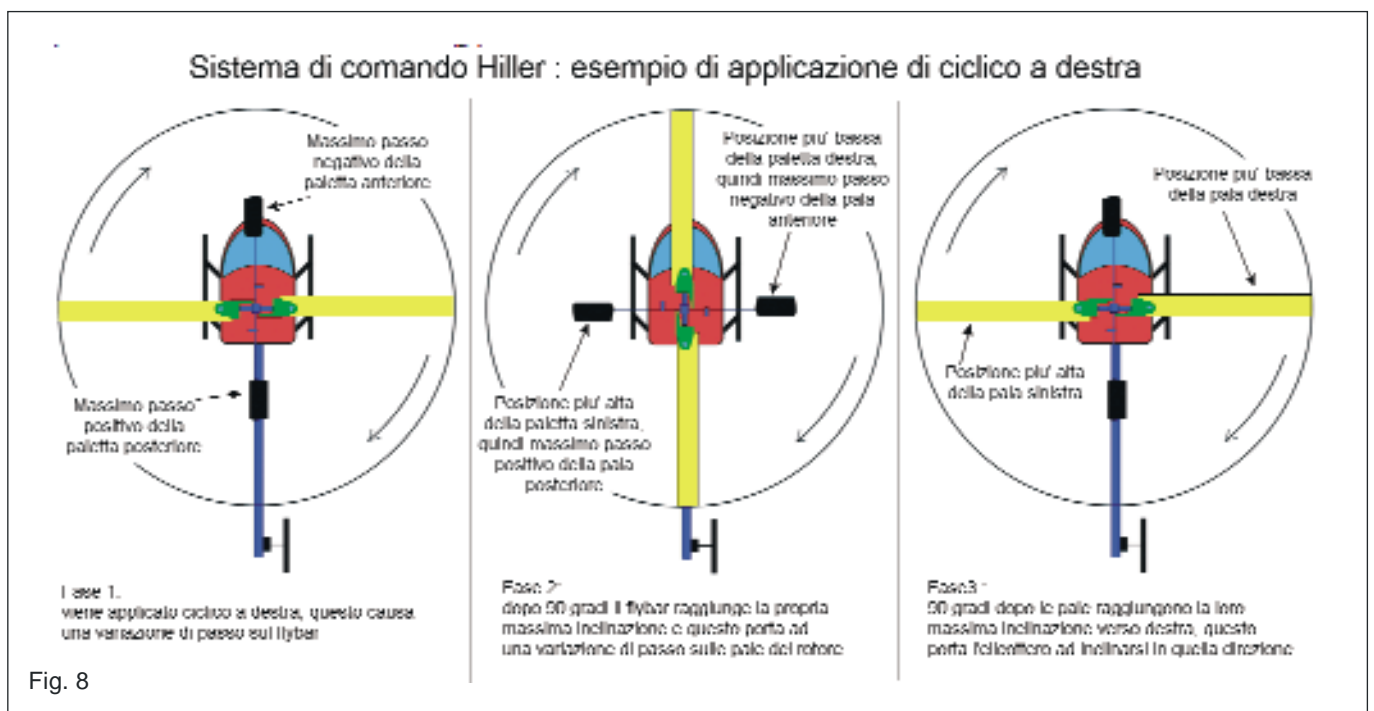


Partiamo dalla solita condizione di rotore che gira bello regolare ed andiamo a vedere la fase 1, in cui viene applicato il comando di ciclico a destra. Il piatto oscillante viene inclinato proprio a destra e questo fa sì (aiutiamoci con la figura 6 per capire come) che la palette della flybar posta davanti diminuisca di passo e quella di dietro invece aumenti. Bene. Dopo che il rotore ha girato di 90° siamo alla fase 2 e,

causa la precessione giroscopica (vedi articolo precedente), la palette a destra si trova nella sua posizione più bassa e quella sinistra nella più alta. Guardando la figura 5 capiamo come questo causi una diminuzione di passo sulla pala anteriore ed un aumento su quella posteriore. Dopo ulteriori 90° siamo alla fase 3 e, sempre per la precessione, adesso è la pala a destra che raggiunge la sua posizione più bassa e la sini-

stra quella più alta. Questo ha quindi l'effetto finale di far inclinare l'elicottero sulla destra, proprio come desiderato. Ecco spiegato come funziona il marchingegno. Questo tipo di comando viene a volte chiamato indiretto, perché il piatto oscillante non comanda direttamente il passo delle pale, ma lo fa attraverso l'uso della flybar. Tutto questo rende il comando estremamente dolce, anche perché la fly-

bar ha un effetto tipo guida servoassistita, poiché il pilota comanda direttamente solo le piccole palette, e quindi lo sforzo è minimo. Queste poi usano la forza generata dalla loro portanza aerodinamica per comandare a loro volta le pale del rotore. Il vantaggio rispetto alla barra di Bell è che, mentre questa si opponeva al comando del pilota, in questo caso ciò non sussiste, perché il comando fornito alle pale



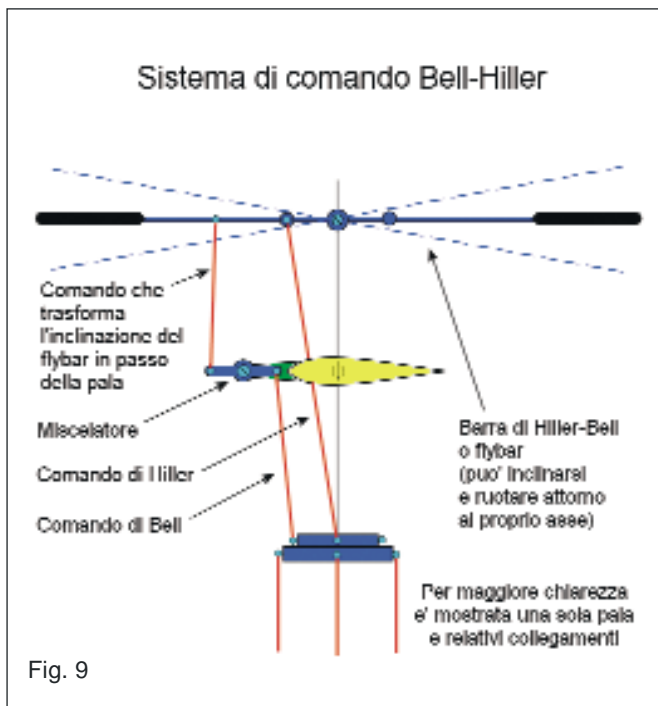


Fig. 9

proviene proprio dall'inclinazione della flybar. Una nota doverosa: nel sistema Hiller non ho volutamente considerato l'applicazione del comando collettivo, perché complica ulteriormente la geometria del sistema e necessita di ulteriori leverismi. Tanto più che per noi il caso Hiller è solo uno strumento e non il fine della nostra realizzazione, e quindi possiamo tralasciare in questo caso il collettivo. Per fortuna direte voi, sempre che siate ancora vivi! A questo punto, seccati, vi starete già chiedendo: e allora cosa c'è che non va nel sistema Hiller bello e puro? Perché non viene utilizzato questo per il nostro modello acrobatico? Il problema proviene proprio dal fatto che in questo caso il comando è indiretto, e quindi non riusciremmo ad avere una risposta abbastanza pronta ai nostri comandi. La macchinosità del sistema di comando introduce infatti dei ritardi sull'applicazione effettiva dei comandi, oltre ad avere una risposta un po' troppo "gommosa". Potremmo quindi riassumere così: il sistema di comando Bell, che è diretto, dà una buona accelerazione nelle nostre manovre, ma una scarsa quantità di comando effettivo (ad

es. velocità di rotazione nei tonneaux). Cioè il modello sente subito il comando, che comunque resta modesto come intensità. Il sistema Hiller, non opponendosi al comando impartito, potrebbe fornirne una buona quantità, ma essendo indiretto, ha una bassa accelerazione. In pratica il modello ha parecchio comando, ma non lo sente con prontezza. E quindi, come ne usciamo? Rullo di tamburi, ecco qua il compromesso storico! Cosa strana, non lo ha ideato un italiano, ma Franz Kavan, che per primo, nel modello RC "Jet Ranger Kavan", ha riunito i due sistemi. Questo sistema, denominato appunto Bell-Hiller, è ora adottato dalla stragrande maggioranza di progettisti di elicotteri RC. In figura 9 possiamo vedere com'è realizzato. In pratica adesso il miscelatore ripartisce nelle dosi volute il comando diretto e quello indiretto. Tale miscelazione è chiamata appunto rapporto Bell-Hiller, ed è una delle quantità fondamentali su cui è possibile intervenire per variare il comportamento in volo dell'elicottero. Ah: dimenticavo, il passo collettivo. Se costruiamo una testa così, come rappresentata in figura 9, ci troveremo col

piatto oscillante che si rifiuta di salire e scendere, e quindi non potremmo applicare passo collettivo. Questo perché il flybar si oppone ai saliscendi del piatto oscillante, potendo gestire infatti i soli comandi di ciclico. Ecco, per rimediare, la figura 10, in cui è stato inserito un ulteriore componente chiamato washout, che ha appunto lo scopo di "filtrare" i comandi inviati al flybar. Questo è formato da un blocchetto (verde) che può scorrere liberamente sull'albero del rotore e da due levette (blu) fissate su di esso. Quando applichiamo un comando ciclico avremo che il blocchetto verde sta fermo e s'inclinano le levette blu, quindi il comando arriva al flybar (invertito, ma basta girare il punto di collegamento P1 di 180° che tutto torna a posto). Se invece applichiamo collettivo avremo che il tirante che parte da P1 bloccherebbe il movimento, ma il blocchetto verde del washout, potendo scorrere su e giù sull'albero, permette il movimento del piatto oscillante. In figura 10 le frecce mostrano il caso d'applicazione di passo collettivo positivo. Per chi non ha capito bene e possiede un elicottero, molto meglio vedere dal vero cosa succede. Nel modellismo, il sistema

Bell-Hiller viene spesso realizzato spostando il miscelatore in punti diversi della testa. A volte lo si ritrova imperniato sul flybar, come nel caso di meccaniche tipo Hirobo e Raptor. L'esempio mostrato è quello che mi sembrava più comprensibile secondo la logica seguita, e più o meno così lo possiamo trovare sugli elicotteri di scuola tedesca, tipo Robbe-Schluter e Vario. Comunque la logica non cambia, ed una volta capito il meccanismo diventa più facile comprendere le varie configurazioni che si trovano in commercio. Va beh, abbiamo fatto tardi, ci sarebbero ancora tantissime cose da dire, ad esempio cosa succede se variamo le geometrie nel sistema Bell-Hiller, come si comporta la nostra testa nel caso di volo traslato veloce, e le pale; sarebbe bello capirne le scelte geometriche e di baricentro. Vedremo se sarà possibile continuare questa serie di articoli "tecnici ma non troppo", anche in base all'apprezzamento dei lettori ed allo spazio che l'editore intenderà riservare all'elmodellismo nella sua rivista. Per ora un saluto a tutti, e, se qualcuno mi volesse contattare, il mio indirizzo di posta elettronica è:

durone@libero.it

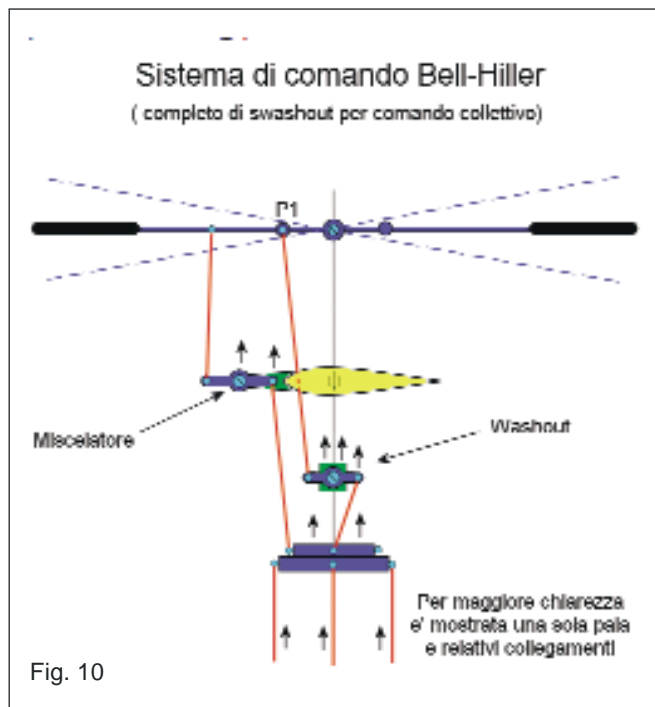


Fig. 10