



Il Ring Laser Gyro: navigando su un raggio di luce

di Fabio Marzocca

L'evoluzione della tecnologia del laser non poteva fare a meno di coinvolgere nel suo sviluppo anche il settore dell'industria aeronautica militare e civile; sui moderni velivoli il tempo a disposizione del pilota per effettuare una scelta decisiva si va sempre più riducendo fino a raggiungere, talvolta, poche frazioni di secondo.

È necessario quindi che le apparecchiature che lo circondano, le cui funzioni sono essenzialmente quelle di fornir-

gli una rappresentazione simbolica della realtà istante per istante, abbiano la capacità di reagire in tempi sempre minori e con gradi di precisione ed affidabilità molto elevati.

Ovviamente i vincoli e le condizioni imposte al progetto ed allo sviluppo di un'apparecchiatura elettronica destinata ad un velivolo sono notevoli, ma primi fra tutti sono forse la dimensione, il peso ed il consumo elettrico dello strumento.

In termini di sistemi in grado di fornire il corretto riferimento di assetto e prua, dieci anni fa si pensava di aver raggiunto una meta insormontabile con i moderni giroscopi e piattaforme inerziali montate su sospensioni cardaniche in grado di mantenere costantemente il livello dei sensori paralleli alla superficie terrestre, qualunque fosse l'assetto del velivolo.

Ma un cuscinetto a sfere o un cardano hanno un tempo di vita medio deci-

samente più basso di una giunzione Metallo-Ossido-Semiconduttore, sono molto meno precisi di un microprocessore a 16 bit e sono più vulnerabili ai bruschi sobbalzi che non un raggio di luce laser.

È sulla base di questi tre postulati che i ricercatori delle maggiori industrie mondiali si sono trovati tutti d'accordo sullo sviluppo di un nuovo sistema in grado di fornire il riferimento spaziale al pilota di un velivolo, senza impiegare masse rotanti e sospensioni cardaniche.

È nato così il Ring Laser Gyro il quale, con dimensioni contenute, metà peso ed un terzo di potenza elettrica, sostituisce con maggior precisione e durata i tradizionali giroscopi, le piattaforme inerziali, gli accoppiatori di bussola e le «flux-valve» sui moderni aeroplani a reazione.

La navigazione inerziale

Per navigazione inerziale si intende quell'insieme di processi destinati a determinare la posizione di un velivolo tramite sensori inerziali interni ad esso, senza impiegare alcun tipo di riferimento esterno. In tal senso, un velivolo è autonomo nei suoi spostamenti, anche in caso di completa avaria di tutti i sistemi di radio-aiuto a terra.

Un sistema del genere è costituito essenzialmente da tre accelerometri e tre giroscopi in quanto, in uno spazio tridimensionale, un velivolo può simultaneamente accelerare e ruotare attorno a tre assi ortogonali detti pitch, roll e heading (beccheggio, rollio e prua).

Attualmente tali sistemi si possono dividere in due grandi gruppi, determinati dal tipo di installazione degli accelerometri e dei giroscopi:

- 1) sensori montati su sospensione cardanica (gimbal) che tende a mantenerli sempre paralleli alla superficie terrestre;
- 2) sensori solidali con il velivolo (strap-down). In questo caso i tre assi dei sensori coincidono con quelli dell'aeroplano.

Gli accelerometri producono un'uscita proporzionale con l'accelerazione del velivolo lungo il loro asse; sarà poi il microprocessore ad effettuare un integrale rispetto al tempo di tale valore per calcolare la velocità istantanea mentre una seconda integrazione consentirà il calcolo della posizione ($a=dv/dt$, $v=ds/dt$).

Ma l'informazione degli accelerometri non è sufficiente a generare il sistema di riferimento completo in quanto essi forniscono una velocità rispetto ad uno dei tre assi del velivolo, ma non hanno a disposizione i dati relativi al riferimento

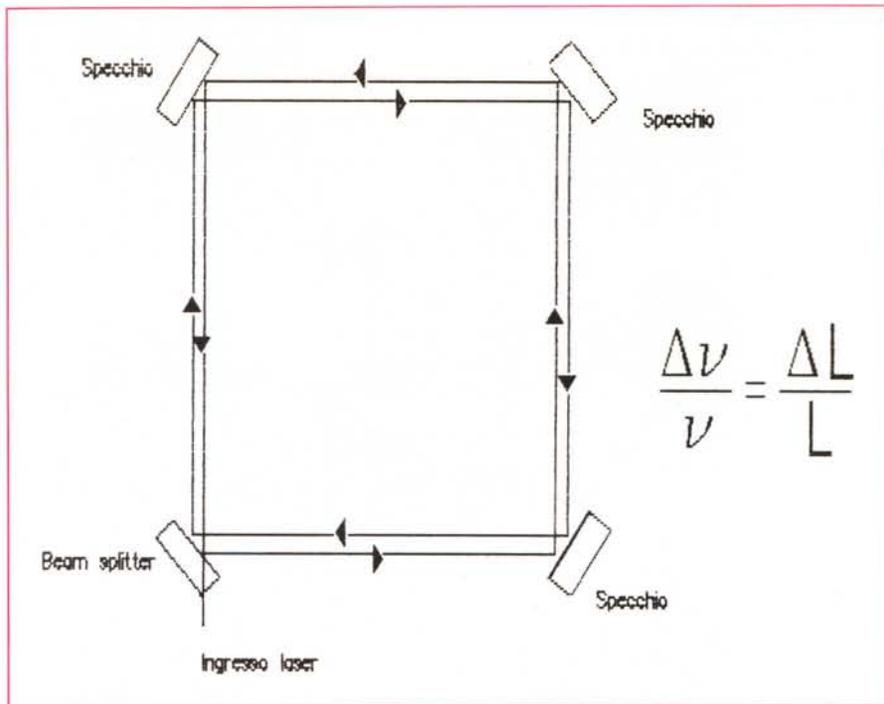


Figura 1 - Interferometro Sagnac.

terrestre. In poche parole, l'accelerometro longitudinale può indicare che il velivolo sta viaggiando a 250 nodi sul suo asse longitudinale, ma non può dire se verso nord, sud, est, ovest, in alto o in basso rispetto alla Terra.

A ciò sono adibiti i tre giroscopi i quali calcolano gli angoli del sistema di riferimento-velivolo rispetto a quelli del sistema di riferimento-Terra.

Durante condizioni normali di volo, i sei sensori rilevano il movimento simultaneamente e con continuità, rendendo perciò necessario l'impiego di microprocessori ad alta velocità e precisione.

Occorre tener conto anche della presenza della forza di gravità e della rotazione terrestre. Un accelerometro verticale non può distinguere nella sua risultante la componente gravità da quella dell'accelerazione del velivolo. È necessario pertanto che il microprocessore sottragga la gravità locale dall'accelerazione verticale misurata dal sensore.

Dal canto loro i giroscopi di tipo «strap-down» misurano il movimento del velivolo rispetto al riferimento terrestre, sommato al movimento della terra rispetto al riferimento dello spazio iner-



Fasi di produzione del Ring Laser Gyro della Litton.

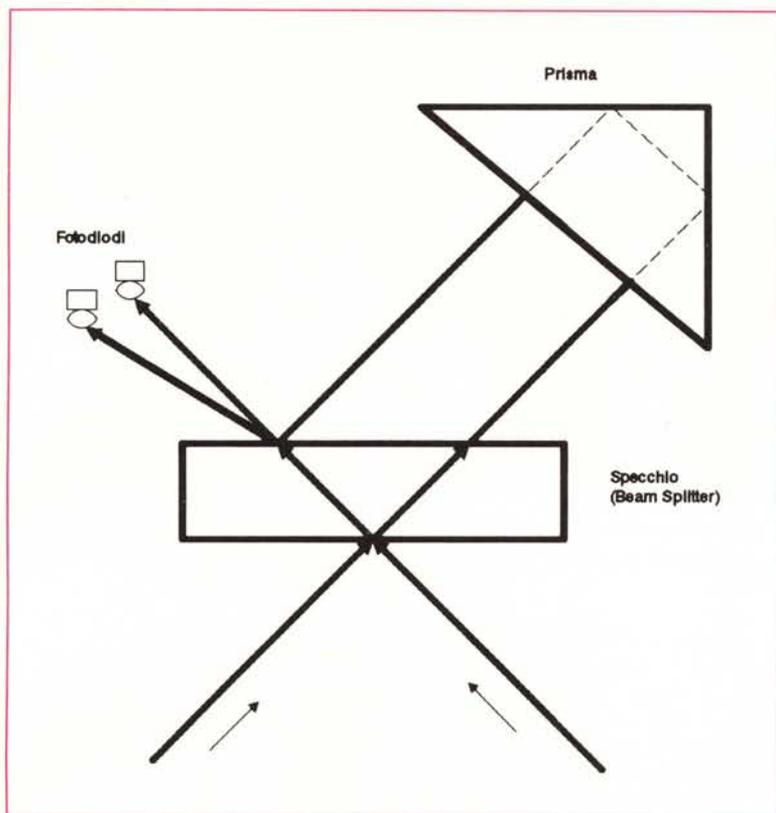


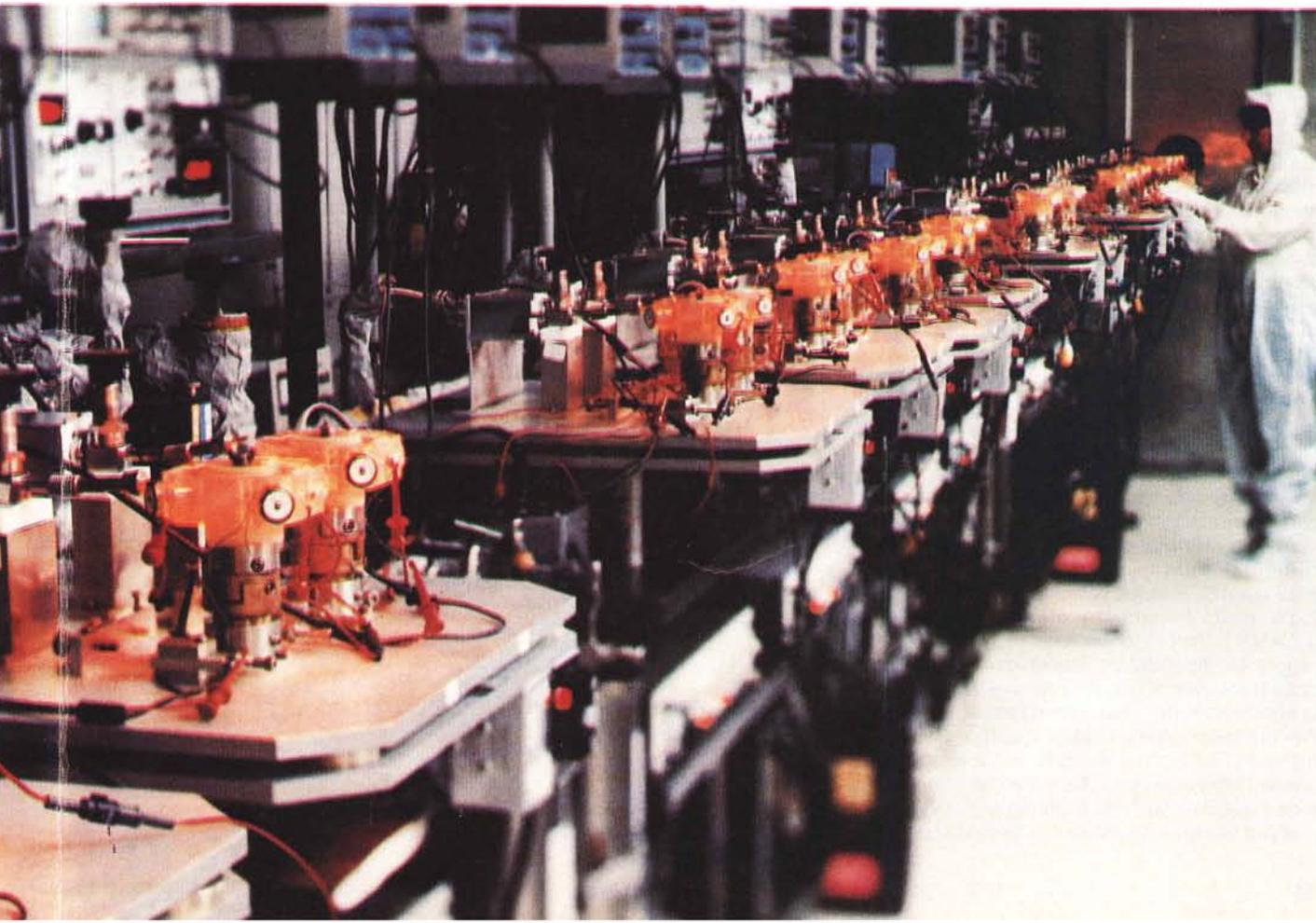
Figura 2 - Misura della differenza di frequenza.

ziale. Sulla base della rotazione e rivoluzione terrestre, si ricava la sua velocità angolare di circa 15.04 gradi per ora. Il microprocessore deve perciò provvedere a sottrarre questo valore dai segnali misurati da qualunque giroscopio allineato verso est.

Nei sistemi a sospensione cardanica, invece, la piattaforma giroscopica si mantiene sempre livellata con la superficie terrestre, quindi il suo sistema di riferimento coincide con quello della Terra.

Ovviamente però gli errori di tipo meccanico introdotti sono notevoli. In altre parole, i navigatori di tipo «strap-down» anziché riposizionare continuamente i giroscopi nello spazio tramite movimenti meccanici, lasciano al computer il compito di confrontare costantemente le variazioni con il suo modello matematico di riferimento.

Oltre a questi tipi di compensazione, occorre tener conto anche della geometria sferica della terra, altrimenti un sistema di navigazione inerziale decollato in Italia e atterrato in Australia, potrebbe pensare che il velivolo sia posizionato in «volo rovescio»!



Teoria di funzionamento di un Ring Laser Gyro

Il funzionamento di un RLG è fondato su di un principio fisico molto noto e tutta la legge matematica che lo regola è composta da relazioni oggettivamente molto più semplici di quelle riferite ai giroscopi a masse rotanti e sospensioni cardanica.

Il principio fisico di base è quello secondo cui due onde (di qualsiasi natura, siano esse meccaniche, elettromagnetiche o particellari) se combinate insieme interagiscono, o meglio, *interferiscono* creando una figura la cui ampiezza è dipendente dalla fase e dalla ampiezza stessa delle due onde interferenti. Viene così prodotto il noto fenomeno delle «figure di interferenza».

Quando il principio dell'interferenza viene realizzato usando due onde collinari controrotanti in una cavità ottica chiusa, il risultato è denominato *Interferometro Sagnac* (fig. 1). Se l'interferometro è fisso nello spazio, le due onde percorrono la stessa distanza e ritornano al punto di partenza con una relazione fissa tra le due fasi; ma qualora lo strumento venisse posto in movimento, i due percorsi ottici non saranno più uguali.

Supponiamo ora di spostare l'interferometro mentre i due fasci di luce lo percorrono. Durante il tempo necessario ai fotoni a percorrere l'intero cammino ottico e tornare al punto di partenza, questo viene spostato di dL rispetto al punto iniziale; in tal caso il percorso ottico risulta essersi allungato, e così anche il periodo di rotazione. Di conseguenza, i fotoni viaggianti nel senso contrario si troveranno a percorrere un cammino più breve in minor tempo. Pur considerando uno spostamento minimo, la lunghezza d'onda della luce (circa 0.6 millesimi di millimetro) è tale da rendere affatto trascurabile il risultato.

Nel 1925 Michelson ha utilizzato l'interferometro di Sagnac per misurare la rotazione terrestre; in tal caso, però, per ottenere una sensibilità accettabile ha dovuto realizzare un interferometro con un quadrato di 450 metri per lato.

Al fine di rendere le dimensioni dell'interferometro più adatte all'impiego aeronautico, è stata impiegata la tecnologia laser (lunghezza d'onda pari a 0.2×10^{-11} cm). L'equazione in figura 1 regola la dipendenza fra la variazione della frequenza d'oscillazione del laser e la lunghezza del suo cammino ottico. Per chi fosse interessato a mettere dei numeri al posto dei simboli, ricordiamo che la frequenza di oscillazione del laser è pari a 4.74×10^{14} Hz e da ciò si ricava che per misurare la rotazione terrestre è



Figura 4 - Il Ring Laser Gyro della Litton.

sufficiente realizzare un interferometro di pochi centimetri di lato.

Il motivo per cui sono stati realizzati due fasci controrotanti va ricercato ancora nella sensibilità e precisione dello strumento. Alle frequenze in gioco, infatti, anche il più stabile dei materiali con cui viene realizzato il Ring Laser Gyro ha un coefficiente di espansione termica non più trascurabile che tenderebbe ad oscurare l'effetto dovuto alla rotazione. Il raggio controrotante nello stesso percorso ottico, perciò, è impiegato per annullare questo effetto differenziale.

Nel RLG la differenza di frequenza viene misurata consentendo l'uscita di una piccola parte della radiazione da uno degli specchi (fig. 2); uno dei fasci attraversa un prisma che lo rifrange sull'altro fascio sul punto di lettura. L'ef-

fetto dell'angolo di incidenza fra i due raggi è quello di produrre delle frange di interferenza rilevate dai due fotodiodi nella zona di lettura; quando le frequenze dei due raggi sono diverse, la figura formata dalle frange si muove relativamente ai fotodiodi con una velocità e direzione proporzionali alla differenza di frequenza.

La teoria appena esposta si applica perciò su spostamenti dell'interferometro attorno all'asse perpendicolare al piano dei due fasci luminosi; disponendo tre di questi interferometri secondo i tre assi principali, si otterrà uno strumento in grado di fornire istante per istante gli spostamenti in assetto e prua subiti dal velivolo.

Allineamento

La fase di allineamento per un sistema di navigazione inerziale precede l'inizio del volo e deve essere effettuata a velivolo fermo; durante questa fase il sistema determina la verticale locale ed il nord vero (che com'è noto, non coincide esattamente con quello magnetico).

Un sistema formato da RLG richiede per l'allineamento, alle nostre latitudini, circa 6 minuti di tempo. Dato che durante tale fase il velivolo è immobile, i giroscopi laser sentono la rotazione terrestre e determinano perciò la direzione del nord. L'ampiezza della rotazione viene impiegata dal computer per stimare la latitudine della posizione attuale del velivolo, la quale verrà quindi confrontata con quella immessa dal pilota durante l'inizializzazione.

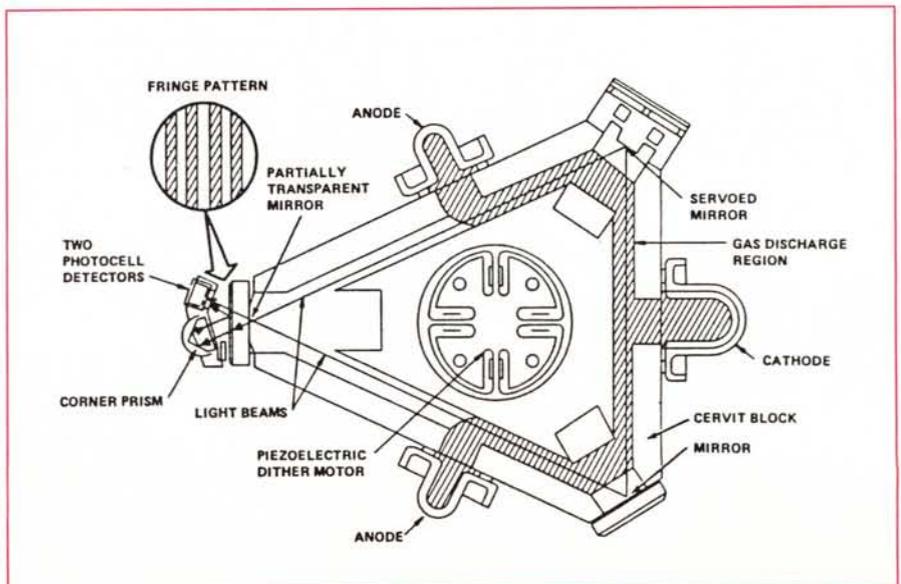


Figura 3 - Schema di un Ring Laser Gyro triangolare (Honeywell).



Figura 5
Una unità completa
RLG (Litton).

Considerazione sulla geometria di un Ring Laser Gyro

Senza entrare in dettagliate considerazioni matematiche, cercheremo di dare un'idea su quello che viene detto «Fattore di Scala» di un Ring Laser Gyro.

Per «fattore di scala» si intende indicare l'esatta dipendenza delle variazioni della frequenza del laser Gyro con la rotazione e la misura della cavità in cui

sono contenuti i fasci. Semplificando, maggiore è il fattore di scala, maggiore è la sensibilità dello strumento.

Il valore del fattore di scala è quindi ovviamente dipendente dalla forma geometrica della cavità. Possiamo dire che, per un perimetro fisso, si ottiene il miglior risultato ottimizzando il rapporto A/P, dove A è l'area della figura geometrica del RLG e P il suo perimetro.

Da queste considerazioni, si ottiene che aumentando i lati della cavità,

aumenta il fattore di scala, tendendo al cerchio come figura limite di efficienza.

Ma a questo punto bisogna evidenziare il fatto che ogni «rimbalzo» del fascio comporta uno specchio di riflessione. Tali specchi devono essere realizzati con materiali altamente selezionati e purificati al fine di evitare fenomeni di diffrazione e «back-scatter»; la costruzione di uno specchio per RLG raggiunge costi di produzione non facilmente immaginabili, portando il costo finalmente di un sistema a livelli attualmente ancora inaccettabili.

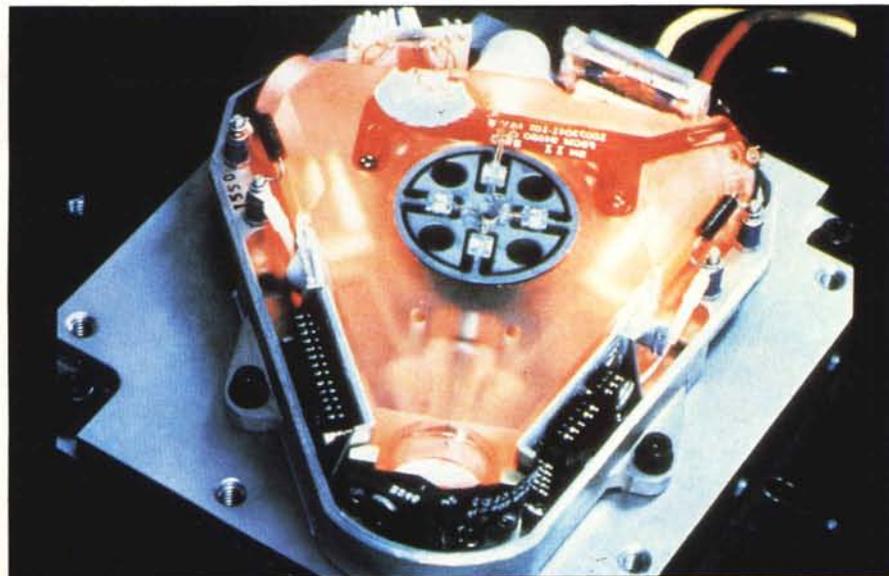
Nell'industria avionica internazionale per l'aviazione civile, la Litton e la Honeywell fanno la parte del leone in tema di Ring Laser Gyro. Per la produzione dei suoi sistemi di riferimento laser, la Honeywell ha scelto una cavità triangolare con ottimi risultati in termini di rapporto qualità/prezzo, mentre il RLG della Litton risiede in una cavità a forma quadrata.

Conclusioni

Il primo sistema di navigazione inerziale impiegato in aviazione fu installato nel 1953 a bordo di un B-29 per un volo da Boston a Los Angeles: pesava circa 1400 Kg. Oggi, dopo 35 anni, un sistema equivalente a quello del B-29 pesa, grazie ai giroscopi a raggio laser, poco più di 30 chili con prestazioni nemmeno paragonabili.

Tutto ciò, ovviamente, non solo per una mera speculazione tecnologica. Un ridotto peso, consumo elettrico e costo significa che questi sistemi possono far parte di dotazioni di bordo anche per piccoli velivoli, con installazione multiple (2 o 3 unità) per garantire sempre un continuo funzionamento di un sistema anche in caso di avaria.

La precisione e la sensibilità che oggi vengono raggiunte dagli equipaggiamenti avionici tendono sempre ad incrementare la sicurezza del volo, in questa continua battaglia dell'uomo contro la forza di gravità. Concludiamo prendendo in prestito una frase della Litton (che in fatto di sistemi di navigazione inerziale la sa lunga!): «I sistemi di oggi rappresentano la più sofisticata espressione dell'ingenuità umana nei 4000 anni della storia della navigazione». **MC**



Il Ring Laser Gyro triangolare della Honeywell.

Desideriamo ringraziare per la preziosa collaborazione offerta e per il materiale illustrativo fornito:

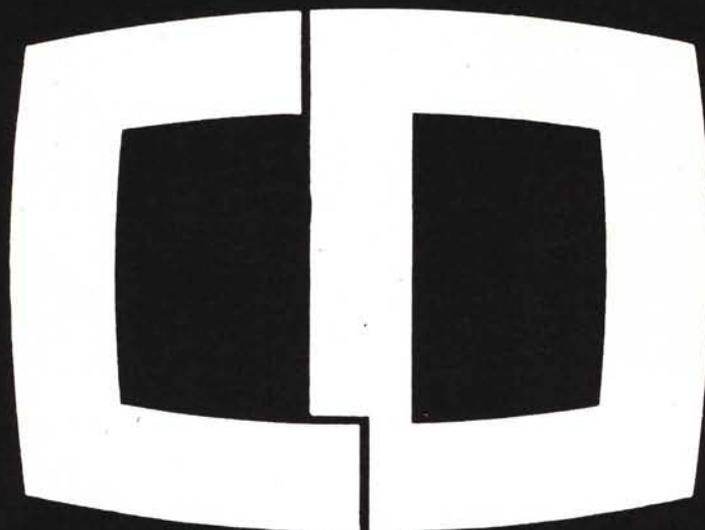
— la **Litton Systems Aero Products Division** Moorpark (California).

— La **Honeywell-Sperry/Commercial Flight Systems**

Via G.B. Morgagni 30/e - Roma.

PROFESSIONALE ed ECONOMICO

IMPORTAZIONE
DIRETTA



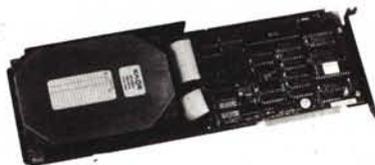
COMPUTER DISCOUNT

SUPER OFFERTA DEL MESE

DISCO CARD

HARD DISK KALOK 20 MB 3"1/2 +
CONTROLLER LCS 6210 +
SUPPORTO METALLICO
FACILISSIMA INSTALLAZIONE
SU IBM, AMSTRAD E SIMILARI

L. 498.000 + IVA 19%



ANKO MOUSE AK MU-6000

COMPATIBILE MOUSE SYSTEM MOUSE E
MICROSOFT MOUSE, PER IBM XT, AT, 386
E COMPATIBILI, SOFTWARE
DI ISTALLAZIONE INCLUSO

L. 49.000 + IVA 19%



DISCHETTI CREATIVE 5"1/4 DS/DD

IN CONFEZIONI DA 10 PZ,
COMPLETI DI BUSTE ED ETICHETTE

L. 730 + IVA 19% (MIN. 10 CONFEZIONI)



PRONTA CONSEGNA

NELLA CONFIGURAZIONE DESIDERATA DI:

- COMPUTERS
- PERIFERICHE
- ACCESSORI

NEI NOSTRI CASH AND CARRY DELL'IN-
FORMATICA DI:



C.D. MILANO

Via Cenisio, 12 - 20154 MILANO
Tel. 02/33100204 - Fax 02/33100835



C.D. BOLOGNA

Viale Lenin, 12 c/d - 40139 BOLOGNA
Tel. 051/494103 - Fax 051/540293



C.D. FIRENZE

Viale Matteotti, 9 - 50121 FIRENZE
Tel. 055/660524 - Fax 055/587765

E QUANDO

SI

GUASTA?

NIENTE PAURA!!

**TUTTI I CENTRI  COMPUTER DISCOUNT SONO
DOTATI DI PROPRIO LABORATORIO E PERSONALE
SPECIALIZZATO PER UNA PRONTA ASSISTENZA**

