

# Apollo Guidance Computer

## Un computer per viaggiare dalla Terra alla Luna



Il primo contratto assegnato nell'ambito del programma Apollo, poco dopo la decisione del presidente Kennedy di raggiungere la Luna entro il decennio in corso, fu quello per il sistema di guida e navigazione computerizzato, assegnato al MIT Instrumentation Laboratory, diretto dal leggendario pioniere della navigazione inerziale, il dottor Charles Stark Draper.

I requisiti per tale sistema erano chiari e semplici, ma all'epoca apparentemente irraggiungibili: realizzare un sistema autonomo, e di piccole dimensioni, in grado di guidare un equipaggio dalla Terra alla Luna, e riportarlo indietro sano e salvo. Soddisfare tali requisiti, in quell'epoca, voleva dire inventare un "hardware" quasi impossibile e realizzare un "software" quasi inconcepibile.

### Un grande balzo, anche per la tecnologia

Quando, nel 1962, il MIT Instrumentation Laboratory iniziò lo sviluppo del computer per portare un equipaggio dalla Terra alla Luna e riportarlo sano e salvo sulla Terra, i computer erano nella loro infanzia. Erano gigantesche apparecchiature a valvole griglia come sale o addirittura come interi piani di un edificio, controllate mediante nastri o schede perforate, con capacità di memoria insignificanti rispetto ai "personal computer" che sarebbero nati alla fine degli anni 70.

Con un coraggio ingegneristico che ha pochi precedenti, i progettisti (figure storiche come Hal Laning Jr, Eldon Hall, Ramon Alonso, Albert Hopkins, David Hoag, e molti altri) decisero di utilizzare per la prima volta nella storia un componente elettronico appena nato, il circuito integrato. Ancora lontani dai microprocessori o microcontrollori degli anni 80 (per non parlare di quelli di oggi), le uniche funzioni disponibili nei nuovi componenti erano le porte logiche. Usando migliaia di queste porte era possibile realizzare quella che oggi verrebbe detta l'unità centrale del computer e tutti i circuiti di supporto.

Per la memoria, non essendo ancora pratici usare i circuiti integrati, si adottò una tecnologia affidabile, e sufficientemente miniaturizzabile, quella dei nuclei di ferrite, minuscoli anellini in grado di conservare lo stato di un bit di memoria indefinitamente. Sempre usando questa tecnologia la memoria di programma veniva cablata con fili sottilissimi per rappresentare in maniera permanente gli 1 e gli 0 del software per una missione. I fili venivano infilati a mano, da operai specializzati, almeno un mese prima del lancio della missione.

Queste decisioni critiche, prese nell'epoca dei "computer dinosauri", si rivelarono vincenti negli anni successivi, solo sette, che portarono allo sbarco sulla Luna: il computer di bordo sviluppato per il programma Apollo (installato sia nel Modulo di Comando che nel Modulo Lunare, con programmi in parte differenti), si rivelò un successo tecnologico senza precedenti e stabilì le regole per lo sviluppo di futuri computer per applicazioni aerospaziali e non. Inoltre aprì la strada a nuove applicazioni dei circuiti integrati (il primo grande utilizzatore di logica industriale) ed essendo, a parità di potenza, il computer più piccolo del mondo spinse il computer in altre applicazioni e settori.

Apollo Guidance Computer - Caratteristiche tecniche	
Parola di memoria (word)	16 bit (organizzati in 15 bits + 1 bit di parità)
Frequenza operativa (clock)	1,024 MHz
Ciclo di memoria	11,7 microsecondi
Memoria riscrivibile	2048 words (variabili)
Memoria fissa	36864 words (programmi e costanti)
Istruzioni base	34
Intersezioni con priorità	11
Tempo di addizione	23,4 microsecondi (2 cicli di memoria)
Tempo di moltiplicazione	46,8 microsecondo (4 cicli di memoria)
Segnali di ingresso/uscita	227
Circuiti integrati	5600 porte logiche
Potenza	55 Watts
Peso	31,7 Kg
Volume	275 cm cubici



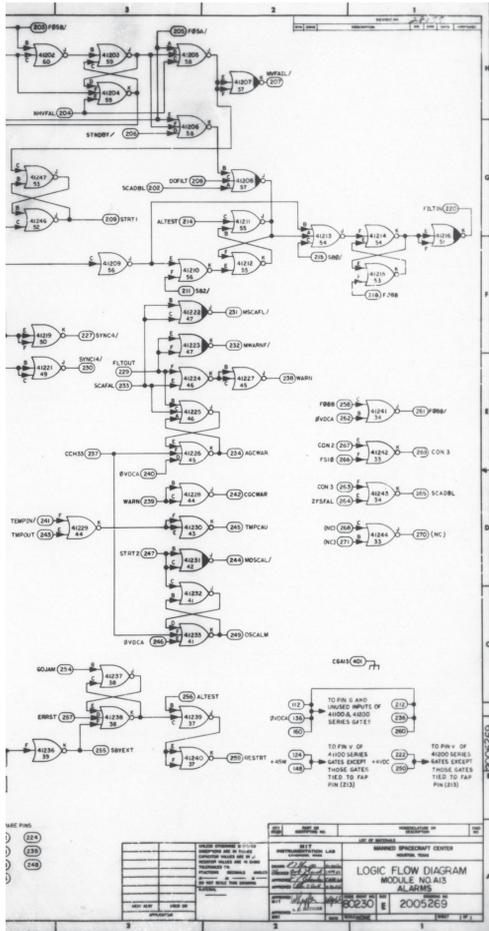
L'organizzazione a moduli sigillati dell'AGC garantisce affidabilità e permetteva di gestire anche gli aggiornamenti dell'hardware. I moduli contenenti le memorie erano posti in una sezione superiore che si collegava ai connettori centrali. Questo permetteva di "aggiornare" il software senza danneggiare l'integrità del resto del computer.

### AGC Hardware

Questa piccola porzione degli schemi elettrici dell'AGC (relativa al modulo A13 di cui alla foto sopra), illustra l'impiego dello stesso tipo di porta logica per la realizzazione delle varie funzioni che comportano l'unità centrale del computer.

Oltre alle porte NOR, il computer impiegava anche transistori ed altri componenti convenzionali, ed in particolare faceva largo uso di memorie a nucleo di ferrite altamente miniaturizzate. Memorie di questo tipo finirono anche nella prima generazione di computer dello Space Shuttle per via di una loro caratteristica fondamentale: non perdono il loro stato (cioè le informazioni che contengono) qualora il computer perda l'alimentazione elettrica.

Nonostante siano passati quarant'anni, un progettista di oggi non avrebbe alcuna difficoltà a seguire la logica del progetto. Infatti, un appassionato statunitense, John Fultorak, ha costruito una replica funzionante dell'AGC (ospitata presso il Wings over the Rockies Museum, vedi foto a destra) utilizzando componenti moderni. Questa è una delle tante iniziative che contribuiscono a mantenere vivo il ricordo di una tecnologia che ha contribuito a gettare le basi per la moderna elettronica aerospaziale.



### Virtual AGC, ovvero "Living Apollo technology"

Di tutta la tecnologia realizzata per il programma Apollo, incluso il gigantesco Saturn V, l'unica parte ancora, per così dire, "in vita", è il software sviluppato per l'Apollo Guidance Computer. Oggi, grazie all'iniziativa di una singola persona, Ron Burkley, è possibile eseguire le diverse versioni del software, sia del Modulo di Comando che del Modulo Lunare, all'interno del proprio "personale computer".

Realizzando un emulatore dell'architettura hardware dell'AGC, e traducendo (letteralmente riscrivendo) ricopiando a mano i listati dell'epoca le istruzioni delle diverse edizioni del software trascrivendo le listate dell'epoca. Ron ci offre la possibilità di "aggarciare" con il software dell'Apollo e rendere così onore alle centinaia di persone che dal 1962 al 1977 vi lavorarono. E' possibile, studiando il codice, capire le soluzioni adottate e il loro impatto, anziché il semplice, suo svolgimento della missione.

Grazie poi all'apporto di altri appassionati e conoscitori della tecnologia Apollo, moduli aggiuntivi per simulare i vari componenti del sistema di guida e navigazione permettono di apprezzare meglio le diverse funzioni. Infine, grazie ancora ad altri, il software dell'AGC può essere usato all'interno di simulatori, sempre per ricreare così le missioni che hanno portato l'uomo sulla Luna (vedi, in particolare, il progetto NASSP: <http://nassp.sourceforge.net/>).

L'emulatore dell'AGC offre anche innumerevoli spunti educativi e divulgativi mettendo a disposizione un computer a tutti gli effetti che può essere programmato anche per altri scopi e funzioni. Una sorta di computer didattico con quel gusto storico che è sempre stato apprezzato.

<http://www.ibiblio.org/apollo/>



DSKY dei computer del CM (Apollo 14) sul pannello principale insieme all'orizzonte artificiale pilotato dalla piattaforma inerziale. Un'altra DSKY era vicino alla postazione di navigazione, dotata di sestante e telescopio asserviti al computer.

### DSKY: Display and Keyboard

Il componente più visibile dell'intero AGC è il pannello con cui gli astronauti potevano interagire con il computer. In un'epoca in cui "parlare" con un computer usando un terminale video era cosa futuristica, l'unità chiamata Display and Keyboard, o DSKY, rappresentò un avanzamento drastico nei "rapporti" tra uomo e macchina. Per la prima volta furono introdotti le famose cifre a sette segmenti, e per la prima volta fu possibile dire al computer, mentre stava funzionando, cosa fare, potendo anche interagire con esso per variare parametri o monitorare quantità di numeriche diverse tipo (un'altra novità in un mondo aerospaziale dominato da strumentazione "a lancette").

Le diverse limitazioni del sistema imposero delle restrizioni e delle soluzioni ingegnose anche se l'utilizzo del "linguaggio" ideato per lo scopo richiedeva pazienza e addestramento per garantire efficienza e confidenza dal parte dell'operatore.

Il linguaggio della DSKY era basato su codici numerici a due cifre che rappresentavano Verbi (cioè le azioni) e Nomi (cioè l'oggetto delle azioni). A destra della ditta e riprodotta parte di una "checklist" che ne spiega tutti i codici Verbo/Nome disponibili per il LGC (da Apollo 17 Flight Crew G&N Dictionary).

Anche i vari Programmi disponibili per le diverse fasi di volo erano identificati dai codici numerici, sempre a due cifre, ed il programma in esecuzione in un dato momento era sempre mostrato in alto a sinistra.

I tasti Verbo e Noun servivano per impostare la combinazione Verbo/Nome di interesse, facendola accedere premendo il tasto Enter (es. Verb 16 Noun 65 Enter). Il tasto Enter era anche usato per confermare l'introduzione di dati da parte dell'operatore. Il tasto Clear serviva a correggere errori di digitazione, mentre il tasto Reset serviva ad annullare indicazioni di errore. Il tasto Pro (che sta per Proceed) serviva per confermare operazioni (come l'esecuzione di una manovra, e il avviamento o lo spegnimento del computer). Il tasto Key Release permetteva di rilasciare il controllo della DSKY ad altri programmi che ne richiedevano l'uso; quando l'indicatore corrispondente lampeggiava, l'astronauta era avvisato che un altro programma richiedeva la sua attenzione.

STAR LIST	STAR NAME (Alphabetic)	STAR NAME (Numerical)	No
00	Planet	Acmarr	6
01	Alpheratz	Acrax	25
02	Deneb	Alkafek	27
03	Navi	Aldebaran	11
04	Achernar	Alkafek	27
05	Polaris	Alpheratz	21
06	Acmarr	Alpheratz	32
07	Merkat	Acrax	25
08	Mirfak	Alkafek	27
09	Aldebaran	Alkafek	27
10	Rigel	Arcturus	31
11	Capella	Arcturus	31
12	Canopus	Canopus	14
13	Sirius	Capella	13
14	Procyon	Dabih	43
15	Regor	Deneb	43
16	Deneb	Deneb	43
17	Regor	Deneb	43
18	Antares	Deneb	43
19	Nunki	Deneb	43
20	Regor	Deneb	43
21	Alpheratz	Deneb	43
22	Regulus	Deneb	43
23	Deneb	Deneb	43
24	Sinhal	Enif	44
25	Acrux	Fomalhaut	45
26	Spica	Fomalhaut	45
27	Alkaid	Menkar	7
28	Merkat	Menkar	7
29	Arcturus	Mirfak	10
30	Aldebaran	Moon	50
31	Antares	Moon	50
32	Arcturus	Nunki	37
33	Rasalhague	Peacock	42
34	Peacock	Peacock	42
35	Deneb	Regulus	42
36	Enif	Rigel	12
37	Fomalhaut	Rigel	12
38	Sun	Spica	26
39	Earth	Sun	46
40	Sun	Sun	46
41	Alkaid	Sun	46
42	Peacock	Sun	46
43	Deneb	Sun	46
44	Enif	Sun	46
45	Fomalhaut	Sun	46
46	Sun	Sun	46
47	Earth	Sun	46
48	Sun	Sun	46
49	Alkaid	Sun	46
50	Peacock	Sun	46
51	Deneb	Sun	46
52	Enif	Sun	46
53	Fomalhaut	Sun	46
54	Sun	Sun	46
55	Earth	Sun	46
56	Sun	Sun	46
57	Alkaid	Sun	46
58	Peacock	Sun	46
59	Deneb	Sun	46
60	Enif	Sun	46
61	Fomalhaut	Sun	46
62	Sun	Sun	46
63	Earth	Sun	46
64	Sun	Sun	46
65	Alkaid	Sun	46
66	Peacock	Sun	46
67	Deneb	Sun	46
68	Enif	Sun	46
69	Fomalhaut	Sun	46
70	Sun	Sun	46
71	Earth	Sun	46
72	Sun	Sun	46
73	Alkaid	Sun	46
74	Peacock	Sun	46
75	Deneb	Sun	46
76	Enif	Sun	46
77	Fomalhaut	Sun	46
78	Sun	Sun	46
79	Earth	Sun	46
80	Sun	Sun	46
81	Alkaid	Sun	46
82	Peacock	Sun	46
83	Deneb	Sun	46
84	Enif	Sun	46
85	Fomalhaut	Sun	46
86	Sun	Sun	46
87	Earth	Sun	46
88	Sun	Sun	46
89	Alkaid	Sun	46
90	Peacock	Sun	46
91	Deneb	Sun	46
92	Enif	Sun	46
93	Fomalhaut	Sun	46
94	Sun	Sun	46
95	Earth	Sun	46
96	Sun	Sun	46
97	Alkaid	Sun	46
98	Peacock	Sun	46
99	Deneb	Sun	46
100	Enif	Sun	46
101	Fomalhaut	Sun	46
102	Sun	Sun	46
103	Earth	Sun	46
104	Sun	Sun	46
105	Alkaid	Sun	46
106	Peacock	Sun	46
107	Deneb	Sun	46
108	Enif	Sun	46
109	Fomalhaut	Sun	46
110	Sun	Sun	46
111	Earth	Sun	46
112	Sun	Sun	46
113	Alkaid	Sun	46
114	Peacock	Sun	46
115	Deneb	Sun	46
116	Enif	Sun	46
117	Fomalhaut	Sun	46
118	Sun	Sun	46
119	Earth	Sun	46
120	Sun	Sun	46
121	Alkaid	Sun	46
122	Peacock	Sun	46
123	Deneb	Sun	46
124	Enif	Sun	46
125	Fomalhaut	Sun	46
126	Sun	Sun	46
127	Earth	Sun	46
128	Sun	Sun	46
129	Alkaid	Sun	46
130	Peacock	Sun	46
131	Deneb	Sun	46
132	Enif	Sun	46
133	Fomalhaut	Sun	46
134	Sun	Sun	46
135	Earth	Sun	46
136	Sun	Sun	46
137	Alkaid	Sun	46
138	Peacock	Sun	46
139	Deneb	Sun	46
140	Enif	Sun	46
141	Fomalhaut	Sun	46
142	Sun	Sun	46
143	Earth	Sun	46
144	Sun	Sun	46
145	Alkaid	Sun	46
146	Peacock	Sun	46
147	Deneb	Sun	46
148	Enif	Sun	46
149	Fomalhaut	Sun	46
150	Sun	Sun	46

### Perchè Guidance?

Il vero compito assegnato al MIT Instrumentation Lab (ora Draper Laboratories) era la realizzazione di un sistema di Guida e Navigazione per l'Apollo, cioè un sistema in grado di mantenere una nozione dello stato in cui si trovava il veicolo in ogni istante e di fornire indicazioni, appunto, di guida, per l'esecuzione di determinate fasi del volo (per esempio, l'atterraggio sulla Luna).

L'intero AGC è dunque un sistema più vasto, non limitato al solo computer, il quale comunicava con sensori, attuati, interfaccia verso l'equipaggio, ed il sistema di comunicazione (per lo scambio di dati con il Centro di Controllo).

Per i sensori di navigazione si optò per un sistema di navigazione autonomo basato su una "piattaforma" inerziale a tre assi (IMU, Inertial Measuring Unit) in grado di ottenere un riferimento indipendentemente dal moto del veicolo. Sulla "piattaforma" erano poi montati 3 accelerometri che misuravano, nelle tre direzioni di riferimento, le accelerazioni cui era sottoposto il veicolo permettendo, dunque, al computer di aggiornare lo stato di volo (velocità e posizione) durante e dopo le fasi di decollo.

Nelle fasi in caduta libera, quando il veicolo si muoveva lungo orbite controllate dalla gravità della Terra e della Luna, lo stato veniva aggiornato in modo matematico applicando le equazioni di Newton e di Keplero e verificando, per correggere gli inevitabili errori che si venivano ad accumulare, mediante osservazioni stellari fatte con un sestante collegato alla "piattaforma". In pratica è lo stesso modo usato, una volta sulle navi di lungo corso, prima dell'avvento dei sistemi di navigazione via radio. Osservazioni simili, con un telescopio anch'esso solidale alla "piattaforma inerziale", servivano a ricalibrare l'orientamento periodicamente. La "matematica" dell'intero sistema di guida e navigazione era stata elaborata dal prof. Richard Battin del MIT, all'epoca una delle più grandi autorità nel settore.

Nel corso del progetto, all'AGC furono poi aggiunte altre funzioni principali, come quella di "tramite" per il controllo manuale del veicolo, realizzando a tutti gli effetti il primo sistema di guida fly-by-wire della storia, il primo "autopilota digitale", ed altre funzioni utili per compiti secondari, dimostrando la versatilità dei sistemi computerizzati rispetto agli approcci più classici.



Integrazione dell'AGC a bordo del Modulo di Comando e Servizio (CSM).

In entrambi i casi, si nota che i comandi impartiti dal pilota sono sempre mediati dal computer che li elabora e li trasforma in impulsi di comando verso i diversi propulsori. Il computer può ricevere comandi anche da Terra.

STAR LIST	STAR NAME (Alphabetic)	STAR NAME (Numerical)	No
00	Planet	Acmarr	6
01	Alpheratz	Acrax	25
02	Deneb	Alkafek	27
03	Navi	Aldebaran	11
04	Achernar	Alkafek	27
05	Polaris	Alpheratz	21
06	Acmarr	Alpheratz	32
07	Merkat	Acrax	25
08	Mirfak	Alkafek	27
09	Aldebaran	Alkafek	27
10	Rigel	Arcturus	31
11	Capella	Arcturus	31
12	Canopus	Canopus	14
13	Sirius	Capella	13
14	Procyon	Dabih	43
15	Regor	Deneb	43
16	Deneb	Deneb	43
17	Regor	Deneb	43
18	Antares	Deneb	43
19	Nunki	Deneb	43
20	Regor	Deneb	43
21	Alpheratz	Deneb	43
22	Regulus	Deneb	43
23	Deneb	Deneb	43
24	Sinhal	Enif	44
25	Acrux	Fomalhaut	45
26	Spica	Fomalhaut	45
27	Alkaid	Menkar	7
28	Merkat	Menkar	7
29	Arcturus	Mirfak	10
30	Aldebaran	Moon	50
31	Antares	Moon	50
32	Arcturus	Nunki	37
33	Rasalhague	Peacock	42
34	Peacock	Peacock	42
35	Deneb	Regulus	42
36	Enif	Rigel	12
37	Fomalhaut	Rigel	12
38	Sun	Spica	26
39	Earth	Sun	46
40	Sun	Sun	46
41	Alkaid	Sun	46
42	Peacock	Sun	46
43	Deneb	Sun	46
44	Enif	Sun	46
45	Fomalhaut	Sun	46
46	Sun	Sun	46
47	Earth	Sun	46
48	Sun	Sun	46
49	Alkaid	Sun	46
50	Peacock	Sun	46
51	Deneb	Sun	46
52	Enif	Sun	46
53	Fomalhaut	Sun	46
54	Sun	Sun	46
55	Earth	Sun	46
56	Sun	Sun	46
57	Alkaid	Sun	46
58	Peacock	Sun	46
59	Deneb	Sun	46
60	Enif	Sun	46
61	Fomalhaut	Sun	46
62	Sun	Sun	46
63	Earth	Sun	46
64	Sun	Sun	46
65	Alkaid	Sun	46
66	Peacock	Sun	46
67	Deneb	Sun	46
68	Enif	Sun	46
69	Fomalhaut	Sun	46
70	Sun	Sun	46
71	Earth	Sun	46
72	Sun	Sun	46
73	Alkaid	Sun	46
74	Peacock	Sun	46
75	Deneb	Sun	46
76	Enif	Sun	46
77	Fomalhaut	Sun	46
78	Sun	Sun	46
79	Earth	Sun	46
80	Sun	Sun	46
81	Alkaid	Sun	46
82	Peacock	Sun	46
83	Deneb	Sun	46
84	Enif	Sun	46
85	Fomalhaut	Sun	46
86	Sun	Sun	46
87	Earth	Sun	46