



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 581

DATA: 17/07/2013

A P P U N T I

STUDENTE: Cappelletti

MATERIA: Equipaggiamenti di Bordo e Sistemi Avionici

Prof. Chiesa

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

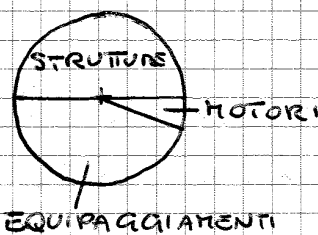
**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

EQUIPAGGIAMENTI DI BORDO e SISTEMI AVIONICI

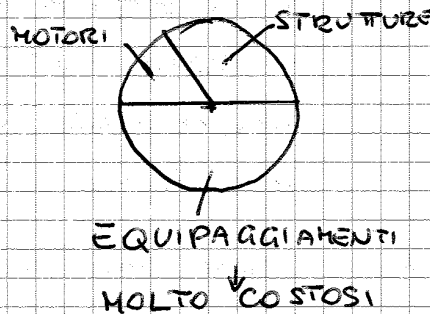
4/03/2013

Prof. Sergio Chiesa

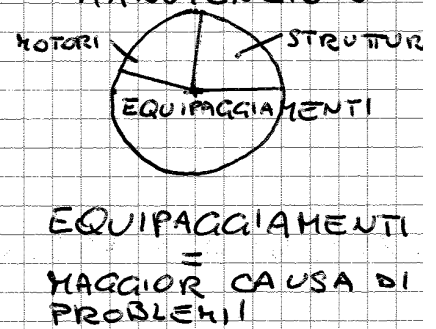
PESO DI UN AEREO



COSTO



ENTITÀ della MANUTENZIONE



Corso di SISTEMI DI BORDO → si parla di POTENZA, impianti che consumano molto

Corso di SISTEMI AVIONICI → si parla di SEGNALE, INFORMAZIONI.

AFFIDABILITÀ'

STAND-BY: sistemi affiancati: nel caso di failure di uno entra in funzione l'altro

- UGUALI
- DIVERSI

Esempio: guasto in volo del generatore elettrico.

Cosa c'è in stand-by? → BATTERIE.

Le batterie alimentano SOLO i sistemi primari, quelli + importanti.

Nel caso di sistemi di potenza si possono avere stand-by diversi

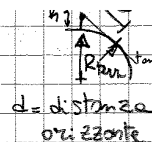
⚠ NEI SISTEMI DI SEGNALE LO STAND-BY DEVE ESSERE UGUALE!

Es: non posso usare un netbook come stand-by del SERVER del comune di Torino.

Un tempo: EQUIPAGGIAMENTI (impianti) SEPARATI:
Pompa carburante, radar, radio...

OGGI: SISTEMI INTEGRATI TRA LORO
È tutto collegato a un computer centrale

TRASMISSIONI DIRETTE → TRASH. IN LINEA RETTA



IL SISTEMA AVIONICO

- GESTIRE E COORDINARE I SEGNALI PROVENIENTI DA TUTTI I SISTEMI DI BORDO

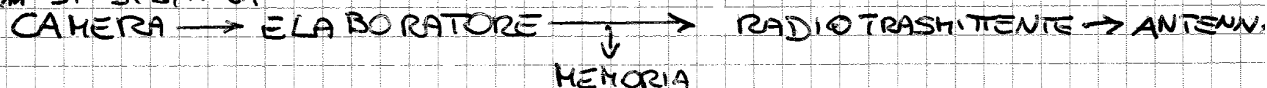
- CICLO GESTIONE INFORMAZIONI:
 - ACQUISIZIONE
 - ↓
 - ELABORAZIONE
 - ↓
 - UTILIZZO



TECNOLOGIE OPTRONICHE

SENSORI "OTTICI" → VIDEO CAMERA

[OPTRONICI]
COMPLESSO SISTEMA DI LENTI X VEDERE CON BUONA RISOLUZIONE ANCHE A KM DI DISTANZA



- SI PUÒ VEDERE NELLA BANDA DEL VISIBILE DELL'OCCHIO UMANO
- BANDA DEGLI INFRAROSSI: IMMAGINI COSTRUITE IN BASE ALLA DIFFERENZA DI TEMPERATURA DEI CORPI
FLIR → Forward Looking Infra Red

LASER

MISURA DI STANZA DI UN OBIETTIVO
"L'IMMAGINE VIENE COLTA DALLA TELECAMERA"

il raggio laser "ritorna indietro"
il sistema calcola il tempo di ritorno e si trovano le coordinate dell'obiettivo. L'onda luminosa dell'immagine ritorna con un certo sfasamento

Es. ► SISTEMA LANTIRN :
 • NAVIGAZIONE NOTTURNA
 • PUNTAMENTO BERSAGLI

► SISTEMA DI OSSERVAZIONE: SFERA CON VIDEOCAMERE, STABILIZZATA GIROSCOPICAMENTE → UNA VOLTA IN QUADRATO IL BERSAGLIO NON LO PERDE ANK SE L'AEREO VIRA

► SENSORI I.R.: PERCEPISCE SE UN CORPO CALDO SI STA AVVICINANDO ALL'AEREO

SISTEMI AVIONICI

5/03/2013

LEZIONE 2 :

STRUMENTI di BORDO - AIR DATA SYSTEM

Sistema avionico → RENDERE DISPONIBILI AL PILOTA TUTTE LE INFO SUI SISTEMI E SUL PROGRESSO DEL VOLO

Il sistema di info verso la macchina e verso altre entità è stato sviluppato + avanti nel tempo - inizialmente le informazioni erano SOLO per il pilota!

[I fratelli Wright non avevano strumenti, basavano tutto sulle loro sensazioni]

- I PRIMI STRUMENTI NON ERANO ELETTRICI

STRUMENTI

- ANEMOMETRO
- ORIZZONTE ARTIFICIALE
- ALTIMETRO
- BUSSOLA MAGNETICA
- VIROSBANDOMETRO
- GIRO BUSSOLA
- VARIOMETRO

Slide 3, Cockpit del Cessna 182

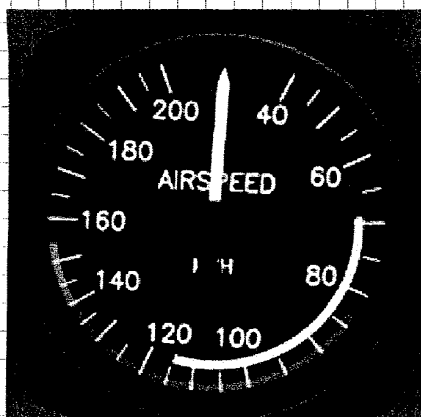
► Curiosità: storicamente il posto del pilota è quello a sinistra, xk sporgendosi poteva vedere i passeggeri imbarcarsi (e CAZZIARLI!) E' ANK COSI' XK NELLE PRECEDENZE IN VOLO 2 AEREI CHE SI INCROCIAN. DEVONO SCOSTARSI A DESTRA!

→ PASSEGGERI A SINISTRA → IL PILOTA A SX VEDE L'ALTRO CERVO
 → SERVIZI A DESTRA (catering, pulizie, cargo, ...)

Su slide 3: • BLOCCO A SINISTRA: STRUMENTI MOTORE

+ La bussola magnetica "da un segnale delle polle" xk è disturbatissima dagli strumenti elettronici

ANEMOMETRO

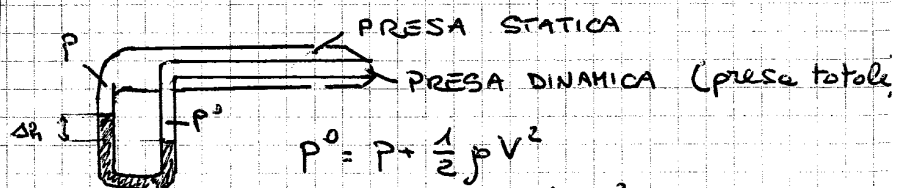


$$\Delta p = \rho_0 \Delta h$$

ANEMOMETRO: INDICA LA VELOCITA' DEL VELIVOLO RISPETTO ALL'ARIA CIRCONSTANTE

→ basato su misura della PRESSIONE DINAMICA

TUBO DI PITOT



$$P_0 = P + \frac{1}{2} \rho V^2$$

$$\Delta p = P + \frac{1}{2} \rho V^2 - P = \frac{1}{2} \rho V^2$$

CAS → CALIBRATED AIR SPEED
 OTTENUTA DALLA IAS APPLICANDO DELLE CORREZIONI VARIANTI CON α , ρ e V . E fissate 2^{da} o 3^a viene di conseguenza I → CORREZIONE ERRORI DI INSTALLAZIONE

EAS → EQUIVALENT AIR SPEED
 SI AGGIUNGE ALLA CAS LA CORREZIONE DOVUTA AGLI EFFETTI DI COMPRIMIBILITÀ

IL PITOT USA BERNOULLI → BERNOULLI È X COMPRIBILE!

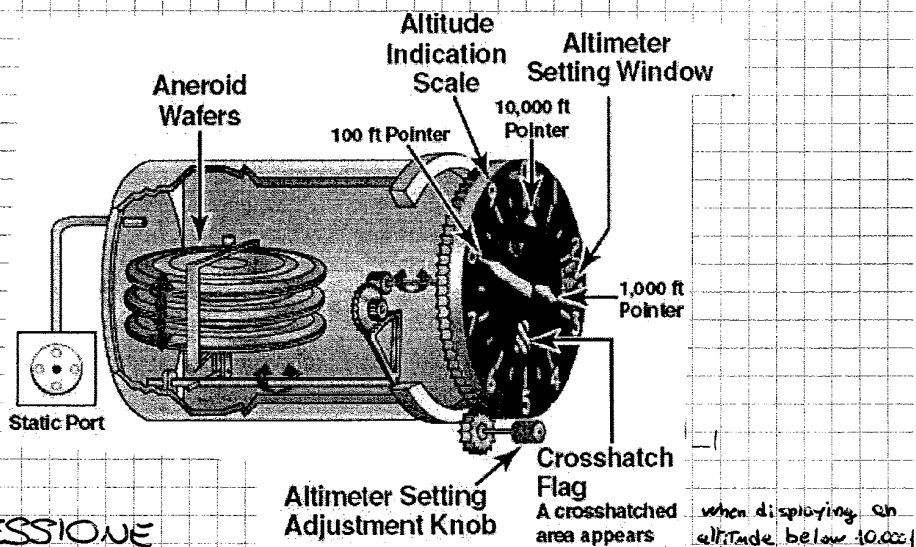
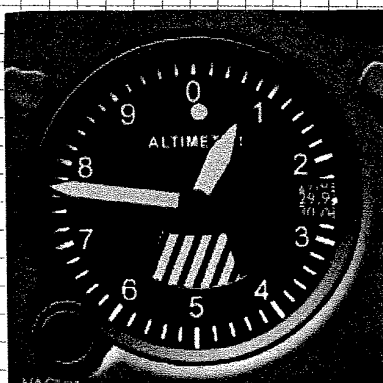
TAS → TRUE AIR SPEED
 VELOCITÀ VERA RISPETTO ALL'ARIA TENDENDO CONTO DEL VALORE REALE DI ρ .

$$\frac{P}{\rho} = RT \quad P \rightarrow \text{BAROMETRO}, T \rightarrow \text{TERMOMETRO}$$

⚠ L'ARIA NON È FERMA!!

TGS → TRUE GROUND SPEED
 VELOCITÀ VERA RISPETTO AL SUOLO.
 OTTENUTA SOMMANDO TAS E VELOCITÀ DEL VENTO (Misurata da RADAR DOPPLER, Sistemi inerziali, GPS)

ALTIMETRO



QUOTA \Leftrightarrow PRESSIONE

L'ALTIMETRO STIMA LA QUOTA CONFRONTANDO LA P ALL'INTERNO DELLA CAPSULA ANEROIDE CON LA P ATM OTTENUTA DALLE PRESE STATICHE.

- AEREO SALE → $P \downarrow$ → CAPSULA ESPANDE (c'è vuoto al suo interno) → MUOVE LE LANCETTE

▶ LANCETTA BIANCA: CENTINAIA DI PIEDI [1 ft = 0,3048 m] (LUNGA)

▶ LANCETTA ROSSA: MIGLIAIA DI PIEDI (CORTA)

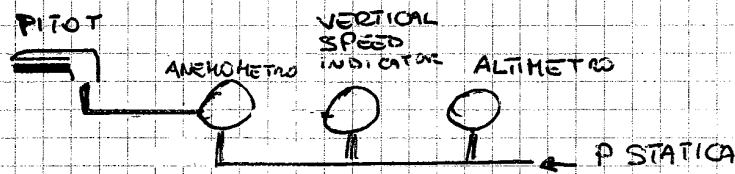
■ ROTELLINA "ALTIMETER SETTING"

QUANDO SONO VICINO ALL'AEROPORTO MI INTERESSA LA QUOTA RISPETTO A QUELLA DELLA BASE.

Se sono a 8000 m, 50 m + 50 m - non fanno la differenza!

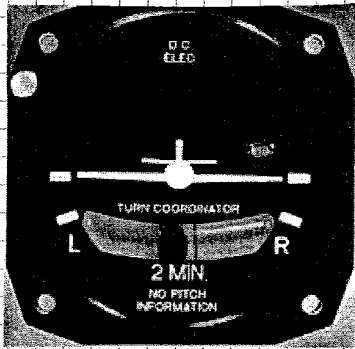
Ma se sono a 100 m, 50 m fanno la differenza!!

SISTEMA INTEGRATO ANEMOMETRO - VARIOMETRO - ALTIMETRO



▶ SI UNIFICANO LE PRESE DI PRESSIONE

VIROSBANDOMETRO [11]

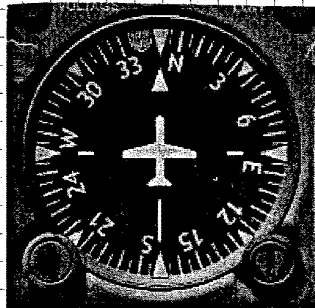


Bolla al centro

- VIROMETRO: VELOCITÀ DI VIRATA
[V virata standard 3°/s]
→ MISURA DATA DA UN GIROSCOPIO
- SBANDOMETRO → SFERA IN TUBO DI LIQUIDO
MISURA L'ACCELERAZIONE → FORZE centripeta e centrifuga
→ VIRATA CORRETTA: SI EQUIVALGONO FORZA CENTRIFUGA E CENTRIPETA
→ AEREO CON ALI ORIZZONTALI: PESO e PORTANZA SONO ALLINEATI

SE LE 2 FORZE NON SI EQUIVALGONO → SCIVOLATE e DERAPATE

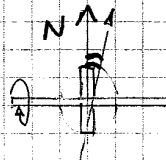
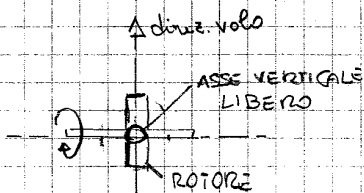
GIROBUSSOLA



MOSTRA LA ROTTA RISPETTO AL NORD GEOGRAFICO [VA ALLINEATO COSÌ ALL'INIZIO]

GIROSCOPIO: una volta messo in rotazione e mantenuto in rotazione, lui mantiene fisso il suo asse di rotazione. ASSE DI ROT. ORIZZONTALE

AEREO VIRA → DIFFERENZA DI ANGOLO TRA ASSE DI ROTAZIONE e DIREZIONE DI VOLO



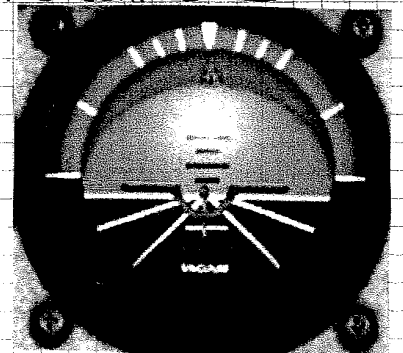
- L'AEROPILANO RIMANE DIRETTO COME LA DIREZIONE DI VOLO
- IL GIROSCOPIO FA 90° CHE IL QUADRANTE GRADUATO "GIRI" RISPETTO ALL'AEREO (MA STA FISSO RISPETTO AL NORD GEOGRAFICO)

CI DA' L'ANGOLO DI PRUA

⇒ L'ASSE DI SPIN E SEHARE ⊥ ALLA DIREZIONE SUD - NORD

ORIZZONTE ARTIFICIALE

- * BUSSOLA MAGNETICA: NORD MAGNETICO
Indicazioni corrette solo durante volo rettilineo livellato
[le misure è influenzate dalla manovra]
→ USATA x CORREGGERE LA GIROBUSSOLA



SLIDE 161 : VANTAGGIO ALTIMETRO BAROMETRICO RISPETTO A UN RADAR-ALTIMETRO

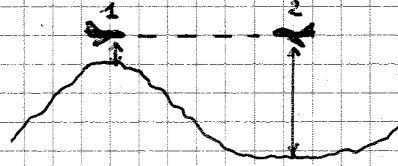
SEPARAZIONE VERTICALE VELIVOLI :

→ TARATURA ALTIMETRI RISPETTO ALLA STESSA PRESSIONE COMUNICATA DAL TRAFFICO AEREO



2 AEREI POSSONO RISPETTARE LA SEPARAZIONE VERTICALE DI 1000 o 2000 FT.

Esempio : SE 2 AEREI AVESSERO UN RADAR-ALTIMETRO E SI BASASSERO SOLO SU QUELLO, COSA SUCCEDEREBBE SE (SULLA STESSA AERONAVE) UNO VOLASSE SU UNA VALLE E UNO SULLA CRESTA DI UNA MONTAGNA?



1: "Io sto volando a 4000 ft"
2: "Io sto volando a 10000 ft"

ATC: "Perfetto, così vi potete incrociare senza battervi dentro"

BAM! → COLLISIONE IN VOLO

ECCO XK È UTILE REGOLARE L'ALTIMETRO RISPETTO A UNA PRESSIONE COMUNE X TUTTI! → QNE

LEZIONE 3-4 ASPETTI DI ELETTRONICA & TELECOMUNICAZIONI

COMUNICAZIONI

2 CATEGORIE DI INFO PASSATE:

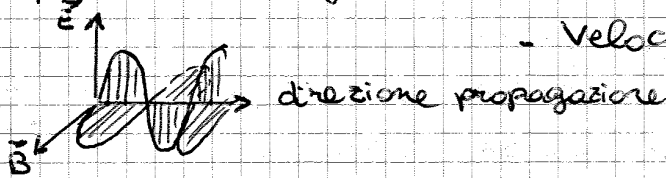
- 1) ANALOGICA : COMUNICAZIONI VOCALI
- 2) DIGITALE : DATA LINKS COMUNICAZIONE TRA SISTEMI E MICROPROCESSORI

Collegamento RADIO

◆ ONDE ELETTROMAGNETICHE che mettono in comunicazione una stazione trasmittente e una ricevente

• Campo elettromagnetico : 2 campi ⊥ in fase

- Velocità di propagazione : vel. lu



• ONDE:

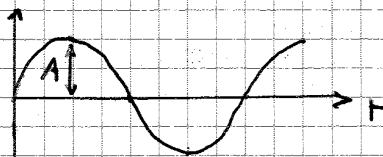
A = AMPIEZZA

f = FREQUENZA $f = \frac{1}{T}$

T = PERIODO

λ = LUNGHEZZA D'ONDA

$$\lambda = \frac{c}{f}$$



Comunicazioni RADIO : f = 30 KHz ÷ 120 GHz

IONOSFERA → PARTICELLE CARICHE

^ BANDE DI INTERFERENZA

RADIO COMMUNICATION SYSTEM



- RADIO TRASMETTITORE TX
- ANTENNA TRASMETTENTE
- ANTENNA RICEVENTE
- RADIO RICEVITORE RX

▶ TRASMISSIONE

TRANSPONDER: ACCOPPIAMENTO DI TX e RX

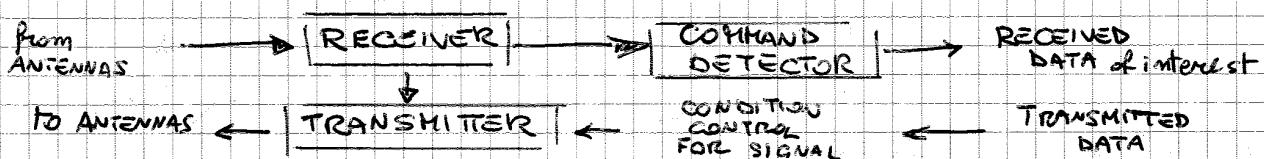
3

- DATI IN INGRESSO → TRASFORMATI IN SEGNALE
 - FILTRO PASSA BASSO → FILTRO RIGETTA BANDA
 - SWITCH (passare da un sistema all'altro se c'è ridondanza)
 - DIPLER: PERMETTE DI USARE L'ANTENNA SIA COME TRASMETTENTE SIA COME RICEVENTE
 - ANTENNA
- [MEMO. MULTIPLEXER di elettronica → PERMETTE DI SELEZIONARE UNA DATA SORGENTE IN INGRESSO E DI MANDARLA ALL'USCITA]

◀ RICEZIONE → percorso inverso

COMMAND DETECTOR

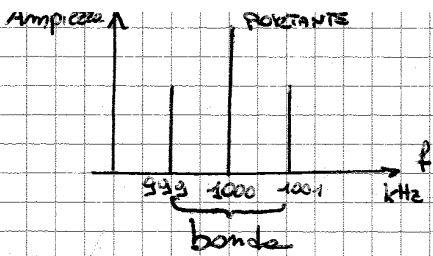
Se abbiamo il ricevitore a una certa frequenza f^* noi riceviamo TUTTE le trasmissioni a f^* , ma non tutte ci interessano! → COMMAND DETECTOR SELEZIONA QUELLE DI INTERESSE



Ma cosa c'è fisicamente NELLA RADIO?

- OSCILLATORE: GENERA L'ONDA PORTANTE
- MODULATORE: MODULAZIONE [in ampiezza/fase/frequenza]
- ALIMENTATORE
- AMPLIFICATORE: HPA - High Power Amplifier, AMPLIFICA ONDA TRASMessa
LNA - Low Noise Amplifier, USATO IN RICEZIONE, AMPLIFICA IL DEBOLE SEGNALE IN INGRESSO

HPA: fa sì che l'onda trasmessa abbia la potenza necessaria x arrivare alla stazione ricevente, pure dopo varie attenuazioni

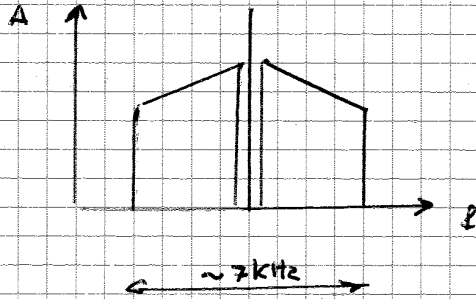


Modulante: $f = 1 \text{ kHz}$
 Portante: $f = 1 \text{ MHz}$

[23]

segnale fisso: es. Un BEEEP che ha sempre lo stesso tono

Segnale AUDIO [ANALOGICO]: banda di ampiezza $\sim 7 \text{ kHz}$



Segnale con tutti i componenti di TONI della voce

Per un corretto funzionamento del trasmettitore:

→ $f_p \geq 100 f_m$ [freq. della mod. e $f + \text{alte}$]

→ A modulante NON SUPERI MAI A portante

↓ → L'INVILUPPO DELL'ONDA MODULATA NON RAPPRESENTA + IL SEGNALE MODULANTE

SOVRAMODULAZIONE → PERDITA DI INFO

GRAVE nell'analogico!

IL messaggio VOCALE va ripetuto

Slide 15 MODULAZIONE IN FREQUENZA

Modulante ampiezza ↑ → PORTANTE frequenza ↑

POSITIVAMENTE

in uscita (L'ONDA IN USCITA HA PERÒ STESSA AMPIEZZA DELLA PORTANTE IN ENTRATA)

• Modulazione DIGITALE [16]

BPSK: trasmissione di uno "0"

↑
 MODULAZIONI DI FASE (FREQ. FISSATA)
 → FREQUENZA FISSATA
 → CAMBIA LA FASE
 ↓
 trasmissione di un "1"

TRASMISSIONE BASE DI UN BIT per volta

La fase della portante è 0° o 180° .

QPSK: trasmissione di gruppi di bit

→ 2 bit per volta

P → Phase

↳ LA PORTANTE DEVE POTER ESSER SFASATA IN 4 MODI

$0^\circ, 180^\circ, +90^\circ, -90^\circ$

CAMBIAMENTO DI FASE → CAMBIO DI BIT (x modulazione di fase)

FSK, → modulazione in frequenza

BEAM WIDTH: parametro dell'antenna.

Indica l'angolo di apertura del MAIN LOBE

Beam width ↑ → ANTENNA POCO DIRETTIVA
(180°) ANTENNA DIPOLO

Beam width ↓ → ANTENNA È MOLTO DIRETTIVA
(10°)

Decibel $dB = 10 \log_{10} P$ $P =$ potenza

10 W di potenza → $dB = 10 \log_{10} 10 = 10$ dB

Polarizzazione: VERTICALE

↓
ANTENNA VERTICALE



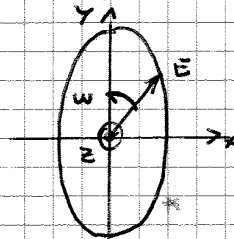
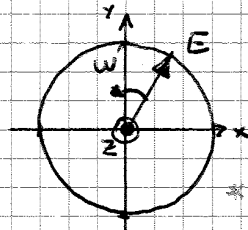
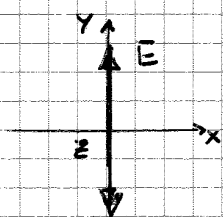
polarizz. lineare

ORIZZONTALE
↓
ANTENNA ORIZZ.



POLARIZZAZIONE CIRCOLARE

ONDA VISTA DA RICEVITORE (fronto &)



POLARIZ. ELLITTICA
↑
MODULAZ. AMPIEZZA

* BISOGNA VEDERE L'ONDA COME SE RUOTASSE A TORNO ALLA DIREZIONE DI PROPAGAZIONE

Guadagno

GUADAGNO È LEGATO ALLA DIREZIONALITÀ

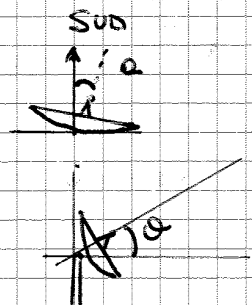
$$G = \frac{\text{POTENZA NELLA DIREZIONE DEL LOBO PRINCIPALE}}{\text{POTENZA DELL'ANTENNA ISOTROPICA}}$$

ES. (150 W nella direzione principale
10 W potenza del trasmettitore

$$G = 15$$

Orientamento ANTENNA

- AZIMUTH: ANGOLO RISPETTO AL SUD
- ELEVATION: ANGOLO RISP. ALL'ORIZZONTALE



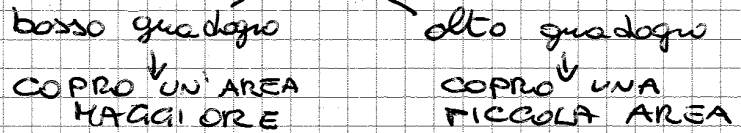
EIRP - Effective Isotropic Radiated Energy [W]

Parametro che racchiude in sé:

- POTENZA TRASMETTITORE
- GUADAGNO ANTENNA
- PERDITE NELLA LINEA DI CAVI

A parità di EIRP: guadagno ↑ potenza trasmettitore ↓

→ Cos'è che cambia? LA COPERTURA

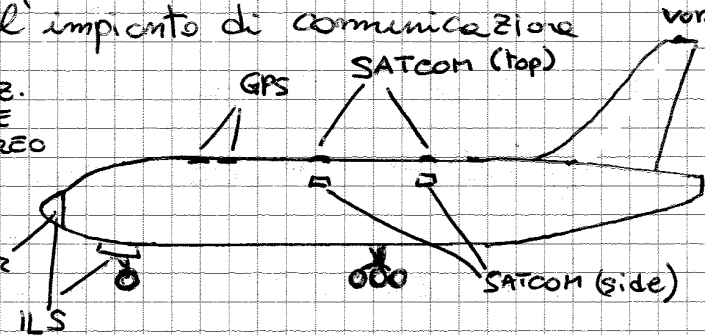


ANTENNAS LOCATIONS

Il posizionamento delle antenne è molto importante × soddisfare i requisiti richiesti dall'impianto di comunicazione

- SATCOM: LE ANTENNE × COMUNICAZ. SATELLITARI DEVONO ESSER MONTATE NELLA PARTE SUPERIORE DELL'AEREO PER

- AVER MIGLIOR COPERTURA DEL CIELO
- NON ESSERE SCHERMATI WEATHER DAL VELIVOLO STESSO RADAR

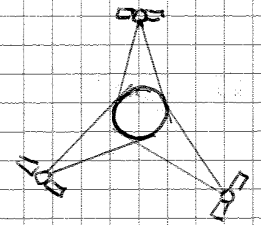


- ILS ↔ Instrumental Landing System

APPROACH & LANDING → LOWER SIDE OF FUSELAGE

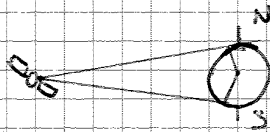
SATELLITI GEOSTAZIONARI

- ORBITANO A 36000 Km DALLA TERRA
- ORBITANO CON LA STESSA VELOCITÀ ANGOLARE DELLA TERRA → STANNO SEMPRE SOPRA ALLO STESSO PUNTO SULLA TERRA
PERIODO DI 24 h
- Per coprire tutto il globo, geometricamente bastano 3 satelliti... ma un satellite può avere 163° di beamwidth?!!? No!
- ci sono molti satelliti geostazionari
- ORBITE EQUATORIALI



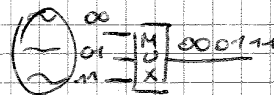
Non sono coperti i poli!!!

Copri da lat +80° a -80°



DIGITAL vs Analog

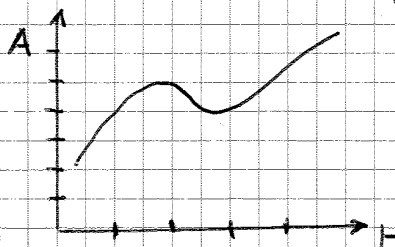
- + ALTO NUMERO DI INFO
- TRASMISSIONE + PRECISA
- DATA LINK : error detectin - correcting code
 - bit di parità
 - probabilità di errore è molto bassa: BER → bit error rate : probabilità che 1 bit sia sbagliato ($< 10^{-5}$)
- SEGNALI MULTIPLI VENGONO MEGLIO MESSI IN SERIE (MULTIPLEXER)



+ difficile con segnali analogici

CONVERTER ANALOGICO - DIGITALE

Sensori di tipo analogico, trasmettono un segnale elettrico che viene poi CONVERTITO in digitale



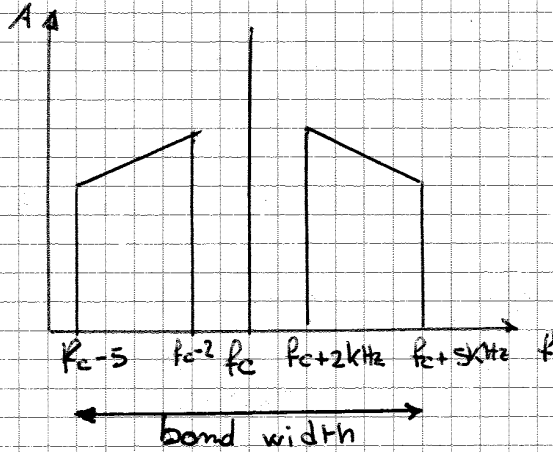
DECIDERE :

- OGNI QUANTO VEDERE QUANT'E' IL VALORE DEL SEGNALE
- QUANTE POSSIBILITÀ SI HANNO X ASSOCIARE AL SEGNALE ANALOGICO UNA DIGITALE

ESERCIZI

Esercizio 1: AM MODULATION

Determine the RF signal frequency components presented in a DSB amplitude modulated carrier wave of 118.975 MHz when the modulating signal comprises pure tone of 2 kHz and 5 kHz.



$$f_c = 118,975 \text{ MHz}$$

$$f_c + 2 \text{ kHz} = 118,977 \text{ MHz}$$

$$f_c + 5 \text{ kHz} = 118,980 \text{ MHz}$$

$$f_c - 2 \text{ kHz} = 118,973 \text{ MHz}$$

$$f_c - 5 \text{ kHz} = 118,970 \text{ MHz}$$

$$\text{Bandwidth} = 118,980 \text{ MHz} - 118,970 \text{ MHz} = 10 \text{ kHz}$$

esercizio 2: AM MODULATION

Abbiamo 1520 data channels da mettere in una banda che va da 315 MHz a 335 MHz.

CHANNEL SPACING

Inizialmente i canali di comunicazione erano spazati di 200 kHz l'uno dall'altro nella banda VHF dedicata.

1947: Frequency Range 118 MHz - 132 MHz

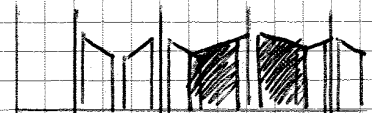
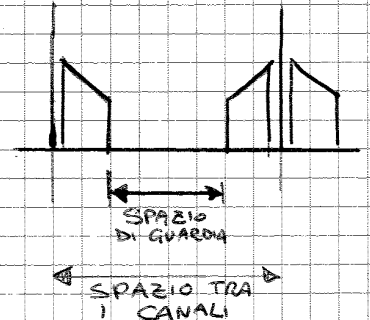
70 CHANNELS

200 kHz Channel Spacing

1995 118 - 137 MHz, 2280 channels, 8,33 kHz spacing

Aumentando notevolmente il numero di canali si è ridotto al minimo lo SPAZIO DI GUARDIA TRA UNA SIDEBAND E L'ALTRA → se non si rispetta un bandwidth limitato c'è il rischio di creare interferenze e degradare le trasmissioni

Es. COMUNICAZ. AUDIO, bandwidth 7 kHz



SOVRAPPOSIZIONE! NO!

2:

INDICE DI MODULAZIONE (m) = rapporto tra Δf
e f_{MAX} DELLA MODULANTE

CALCOLO DEL LINK BUDGET

= ROBUSTEZZA DI UNA COMUNICAZIONE

Si fa x comunicazioni AEREO - SATELLITE

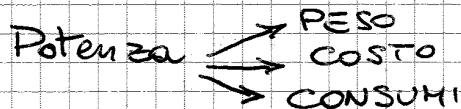
Procedura per "costruire" un LINK per comunicare

- 1) "SCELTA" DELLA FREQUENZA: assegnazione
- 2) DATA RATE: [bit/s] - QUANTITA' DI INFO TRASMISSIBILI NELL'UNITA' DI TEMPO.

Ve scelto a selto a seconda di quanto tempo abbiamo x parlare col satellite

[es: se vediamo il nostro satellite solo x 30 min al giorno serve un alto DATA RATE]

- 3) POTENZA DEL TRASMETTITORE P_{TX}



- 4) STIMARE PERDITE TRA TX e ANTENNA

il percorso deve essere + breve possibile, xk il collegamento implica gravi perdite e attenuazioni (CAVI, FILTRI, ...)

- 5) ANTENNA:
 - GUADAGNO G_r
 - BEAMWIDTH θ_r

$$G = \frac{G_E}{G_{iso}} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot \frac{1}{4\pi} = \pi^2 D^2 \frac{1}{\lambda^2}$$

GUADAGNO ANTENNA PARABOLICA

- 6) EIRP

Parametro caratteristico del sistema in TRASMISSIONE e NON IN RICEZIONE!!!!

- 7) PERDITE TOTALI NELLO SPAZIO

$$L_{TS} = L_{PR} + L_S + L_a$$

Disegno riassuntivo:

10) Calcolare $\frac{E_b}{N_0}$ per il data rate R.

E_b = ENERGIA X TRASMETTERE UN BIT

N_0 = NOISE

MEMO

P → POTENZA +

L → LOSS , -

$\frac{E_b}{N_0}$

11) Scegliere il BER (Bit Error Rate)
e vedere QUALE $\frac{E_b}{N_0}$ richiede una trasmissione
del genere

→ La linea mi consente un certo $\frac{E_b}{N_0}$: sono >
di quello richiesto x la mia trasmissione?

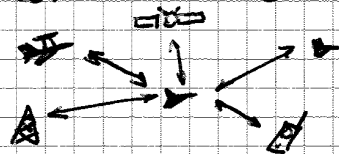
SISTEMI AVIONICI

11/03/2013

LEZIONE 5

SISTEMA COMUNICAZIONI e RADAR

ONDE RADIO → COMUNICAZIONI



Network Centered Warfare → MILITARY COMMUNICATIONS

✦ CURIOSITÀ: negli ultimi 3 conflitti in cui gli States sono entrati [Iraq 1, Iraq 2, Afghanistan] c'è stato un massiccio uso della tecnologia e il + alto numero di MORTI x fuoco amico: COMPLIMENTS!

► COMUNICAZIONI e RADIO AIUTO ALLA NAVIGAZIONE: VHF e UHF

HF: 3 - 30 MHz

VHF: 30 - 300 MHz

UHF: 300 MHz - 3 GHz

VHF

30 - 88 MHz

COMUNICAZIONI RADIO MILITARI

108 - 118 MHz

VOR / ILS

108 - 156 MHz

Comunicazioni voce



121,5 MHz

Freq. EMERGENZA

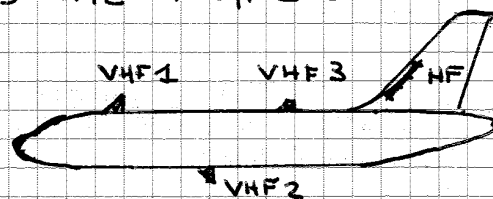
Airbus A320

• COMUNICAZIONI SU 5 CANALI

• HF: ANTENNA ALL'INTERNO DEL LEADING EDGE DELLA DERIVA

↳ UTILE X ONDE VERSO IONOSPHERA
→ NON DA DISTURBO AERODINAMICO

• VHF 2: COMUNICAZIONI DIRETTE A TERRA



SLIDE 5

Il grosso degli apparati avionici sono nel muso, sotto il pavimento del cockpit

SELCAL: SELEZIONATORE DI CANALE

ACU - AUDIO CONTROL UNIT

CVR - Cockpit Voice Recorder

DATA LINK SATELLITARE (VHF e UHF): SCAMBIO DI DATI TRA PUNTI OLTRE L'ORIZZONTE

RADAR

- da SCOPERTA AEREA : antenna + grande possibile e MAX potenza possibile
- RADAR METEO
- RADAR RANGING : determinazione distanza
- Terrain
- Guida missili

Aerei civili non hanno il radar di scoperta!

Non devono rilevare un ostacolo in aria!

(Non è come la nave che può trovare l'iceberg)

L'evitare altri aerei o le montagne è una questione di NAVIGAZIONE!

Hanno invece il radar meteo per evitare zone turbolente e di perturbazione.

- Radar ALTIMETRO
- Radar DOPPLER : misura della velocità in base alla frequenza dell'onda

EFA - Multifunction RADAR , fa un po' tutto.

■ TELERILEVAMENTO

Analisi del territorio dall'alto

- RADAR SAR - Synthetic Aperture Radar

L'antenna rotante è sostituita da numerose piccole antenne non rotanti. Ogni piccola antenna invia un

segnale e il computer li elabora tutti x dare un immagine

* I vari segnali ritornano all'antenna con un certo ritardo dato dai rilievi del territorio.



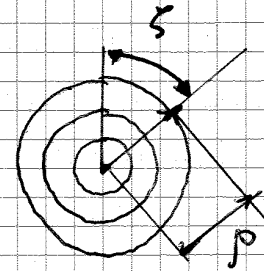
▲ + VANTAGGIOSO DELLE FOTO XK SI PUÒ USARE ANCHE IN CONDIZIONI DI BRUTTO TEMPO
 SFASAMENTO → RILIEVI , INTENSITA' → MATERIALE

- RADAR AESA → multi funzione [EFA, F22, ...]

Migliaia di moduli RX/TX che agiscono indipendentemente x svolgere 30000 funzioni!

ACCENDENDO E SPEGNENDO IN SUCCESSIONE COLONNE O RIGHE DI MICRO ANTENNE SI PUÒ FARE UNA SCANSIONE SENZA MUOVERE MECCANICAMENTE L'APPARECCHIO | SCANSIONE + VELOCE!

ONDE RADIO → AIUTO ALLA NAVIGAZIONE



ALTRI SISTEMI DI RIF.

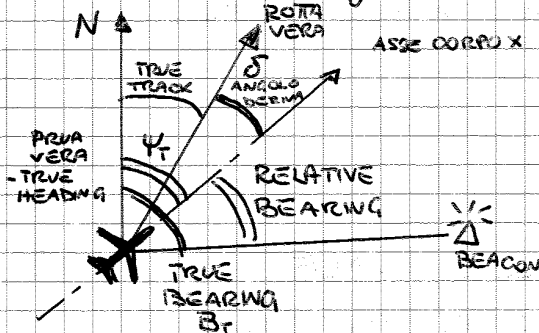
- LATITUDINE E LONGITUDINE
- POSIZIONE SU MAPPA REGISTRATA

Ground station = ORIGINE DI UN SISTEMA DI COORDINATE POLARI

Si fa il punto di dov'è il velivolo
Il pilota sa sulla carta dov'è la stazione di terra

- Emissione di radio segnali da SATELLITI (GPS, GALILEO) [VHF, UHF]

Bussola magnetica → NORD MAGNETICO



NORD MAGNETICO ≠ NORD GEOGRAFICO!

- STAZIONE DI TERRA
↓
POLO
(radio fono-beacon)

→ NON DIRECTIONAL BEACON

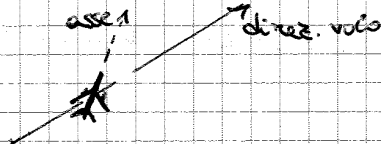
→ RADIOFARO DIREZIONALE

L'ANGOLO ξ LO DÀ IL RADIOFARO RISPETTO A UNA DIREZIONE PREFERENZIALE

- VHF Omnidirectional Range
- TACAN
- VORTAC

▲ LA DIREZIONE DI VOLO NON SEMPRE COINCIDE CON L'ASSE VELIVOLO!

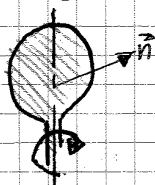
→ ANGOLO DI drift
VENTO LATERALE, TRAZIONE ASIMMETRICA



• NDB in teoria è più furbo!

CONOSCENDO LE COORDINATE DELL'EMISSIONE DI TERRA IL SISTEMA TROVA DISTANZA e ANGOLO
- PUÒ ESSERE UNA COMUNE STAZIONE RADIO!

ANTENNA LOOP [omni '30]



- L'ANTENNA VENIVA FATTA GIRARE DA UN MOTORINO
 - QUELLO CHE CONTA È L'AREA
 - IL FLUSSO DEL SEGNALE È MASSIMO QUANDO LA RADIALE È PERPENDICOLARE ALL'ANTENNA
- Placcando l'antenna verso quella direzione

DME - Distance Measuring Equipment

Segnale ricevuto da aereo viene subito rimandato alla stazione di terra. => TRANSPONDER

Il DME calcola il ritardo del ritorno → CALCOLA LA DISTANZA.

▲ VAI VERSO IL VOR

▬ STAI PASSANDO SUL VOR

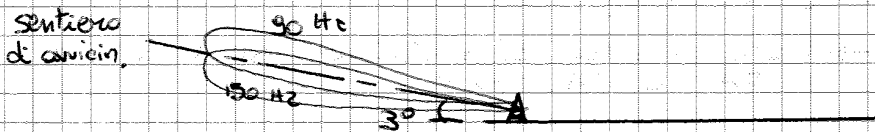
▼ IL VOR È DIETRO DI TE

I.L.S. - INSTRUMENTAL LANDING SYSTEM (pag. 153)

Velivolo riceve segnali da ANTENNE direzionali

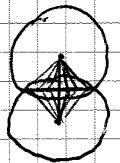
- 2 SEGNALI GS DA 2 ANTENNE LEGGERMENTE SFASATE IN ANGOLAZIONE

Glide Scope

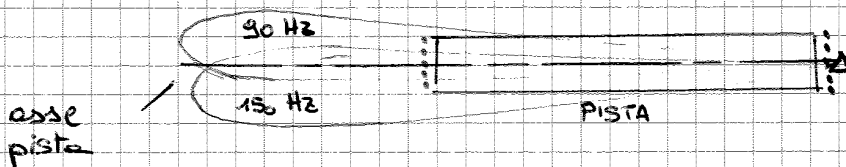


INTERSEZIONE DEI DUE LOBI: PIANO!

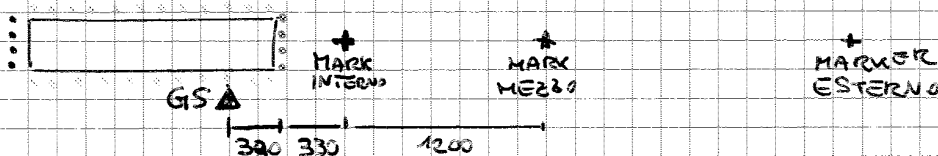
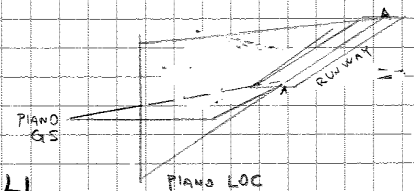
Se il velivolo riceve i 2 segnali GS in fase → è su quel piano!



- 2 SEGNALI LOC - LOCALIZER



ACCESSORI → MARKER : LOBI VERTICALI



LOC

40 conditi in una banda da 108 - 112 MHz, segnali modulati da freq. di 90 Hz (SINISTRA), 150 Hz (DESTRA)

GS

219 - 225 MHz modulati da 90 Hz sinistra e 150 Hz destra

SISTEMI AVIONICI 14/03/2013

LEZIONE 8

SISTEMI INERZIALI PER IL CONTROLLO DEL VOLO E DELLA NAVIGAZIONE

- SISTEMI DI NAVIGAZIONE AUTONOMI → NON C'È BISOGNO DI ASSISTENZA DA TERRA!

IL VFR per esempio è un sistema per navigare autonomamente! ... ma è un po' poco se non c'è visibilità!

NAVIGAZIONE SENZA AIUTI DA TERRA È ESSENZIALE PER I VELIVOLI MILITARI:

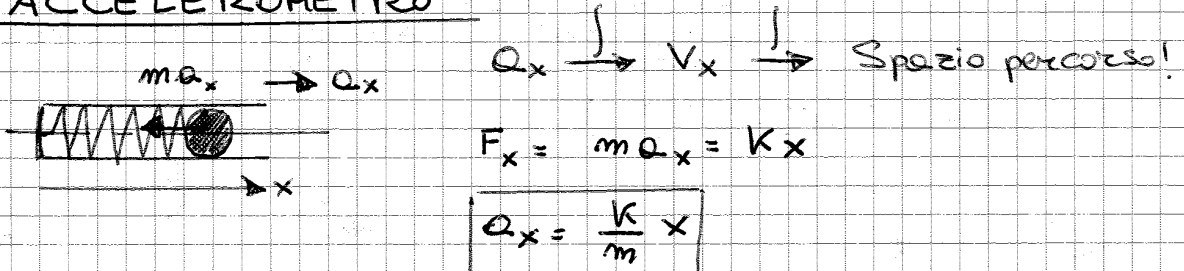
- MISSIONI DI BOMBARDAMENTO
 - MISSIONI DI LANCIO PARACADUTISTI
- } su territori nemici

Una navigazione autonoma è ank indispensabile x aerei a lungo raggio che volano su aree desertiche o sugli OCEANI [o meglio, oggi che c'è il GPS potremmo anche evitare di avere questi sistemi]

→ SISTEMI INERZIALI ←

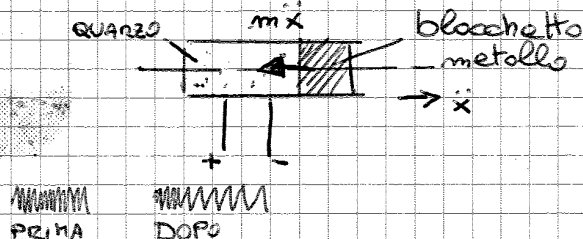
vedremo però xk i sistemi inerziali servono comunque!

ACCELEROMETRO



FORZA D'INERZIA COMPRIME LA MOLLA
→ CALCOLO L'ACCELERAZIONE in quella direzione

► Come sono fatti gli accelerometri oggi?



CRISTALLO DI QUARZO:
SE ALIMENTATO DA UNA CORRENTE CONTINUA, LUI LA METTE IN OSCILLAZIONE CON UNA FREQUENZA PRECISA

Quarzo < SENSIBILE A T
SENSIBILE A COMPRESSIONE e TRAZIONE,
dota dell'inerzia del bloccetto

SOLLECITAZIONE → VARIA FREQUENZA!

→ ACCELEROMETRO PIEZOELETTRICO

A.D.I. : ATTITUDE DIRECTION INDICATOR

Ma non sarebbe + furbo chiamarlo attitude & Roll?
 Un inglese direbbe "eh, ma x cambiare direzione devi ROLLARE" -.-


H.S.I. HORIZONTAL SITUATION INDICATOR

A.H.R.S: Attitude and Heading Reference System

GIROSCOPI POSTI NEL BARICENTRO DELL'AEREO

CURIOSITA' ✦

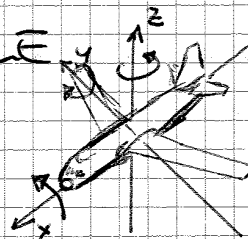
I caccia da interdizione che devono essere sempre pronti a decollare vicino alla pista sono sempre collegati a un cavo elettrico: il sistema di navigazione inerziale deve rimanere sempre alimentato in modo che l'aereo sia subito pronto. Se tolgo l'alimentazione il gyro si spegne e "cade". Quando lo riaccendo si mette un po' ad allinearsi!

 L'oscillazione poi si smorza dopo un po'!
 [per inerzia quando si muove va subito oltre la posizione di equilibrio]

dopo questa panoramica sugli strumenti vediamo a cosa servono per la

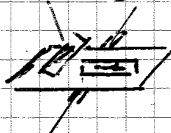
NAVIGAZIONE INERZIALE

- 3 ACCELEROMETRI
- 2 GIROSCOPI (in realtà 3)



PIATTAFORMA INERZIALE

ACCELEROMETRI



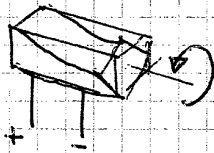
I GIROSCOPI RILEVANO GLI ANGOLI DEL CAMBIAMENTO DI ASSETTO E LI PASSANO COME COMANDI A DEI MOTORINI CHE FANNO RUOTARE LA PIATTAFORMA DI ANGOLI UGUALI E OPPOSTI

es. Aereo cabra di 10° .
 Piattaforma inerz. picchia di 10° , in modo che stia sempre // agli assi terrestri

LA PIATTAFORMA RESTA FERMA MANTENENDO X TUTTO IL VOLO L'ALLINEAMENTO CHE AVEVA PRIMA DI INIZIARE A MUOVERSI
 → MANTIENGA LA STESSA GIACITURA

SI SONO TOLTI 4 CUSCINETTI. 2 GRADO DI LIBERTÀ → EPI
 SI È NESSA UNA BARRA DI TORSIONE (asta che potrebbe essere collegata a una molla di torsione)

TORQUEMETER → QUARZO PIEZOELETTRICO
 SOTTOPOSTO A TORSIONE
 → MISURATORE DI COPPIA ←

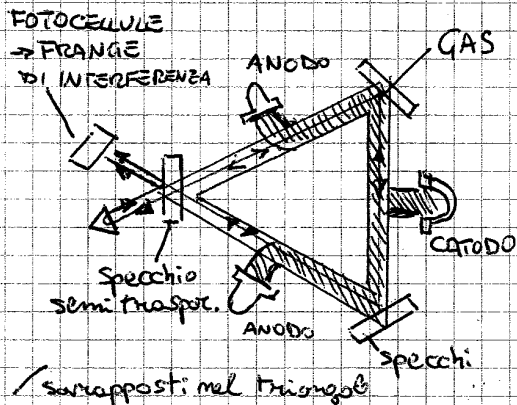


NOTA: UN TRASDUTTORE ELETTRONICO (variazione di R)
 PUÒ VENIR RIMPIAZZATO DA UN SENSORE PIEZOELETTRICO

Per quanto il GYRO di velocità fosse una pompata
 a fine anni '60 ottimo il GIROSCOPIO LASER

GIROSCOPIO LASER

RING LASER GYRO → sfrutta l'effetto SAGNAC
 (ANALOGO DEL DOPPLER)



• SONO COME DEI GIROSCOPI DI VELOCITÀ
 RILEVANO GLI SPOSTAMENTI ANGOLARI
 SOLO ATTORNO A UN ASSE

BLOCCO DI VETRO, CANALI CON
 ELIO e NEON, 2 ANODI e UN CATODO.
 ↳ ddp di 3000 V → IONIZZAZIONE GAS
 e EMISSIONE DI FOTONI GUIDATI
 DAI 2 ANODI e RIFLESSI DA
 SPECCHI NEI VERTICI IN MODO DA
 CREARE 2 RAGGI CHE SI MUOVONO
 IN DIREZIONI OPPOSITE

Sporimetricamente: ROTAZIONE → ALLUNGAMENTO CAMMINO OTTICO
 DI UN RAGGIO e ACCORCIAMENTO DELL'ALTRO.

SFASAMENTO dei 2 RAGGI RICEVUTI DA UNA FOTOCELLULA
 è proporzionale a ω SENTITA.

- Quindi, RIASSUMENDO:

- ANNI '20-30 : GIROSCOPIO DI POSIZIONE
- ANNI '60 : RATE-GYRO, GIROSCOPIO DI VELOCITÀ
 - MISURA LA VELOCITÀ DI ROTAZIONE ATTORNO A UN SOLO ASSE
 (COPPIA → COMPUTER → ω ROTAZIONE)
- ANNI '70 : RING LASER GYRO

ERRORI TIPICI dei giroscopi nella navigazione sulla superficie terrestre

→ CORREZIONE da parte dei SOFTWARE!!!

- ▶ SFERICITÀ DELLA TERRA
- ▶ CORREZIONE ACCELERAZIONE DI CORIOLIS
- ▶ CORREZIONI DELLE EFFEMERIDI

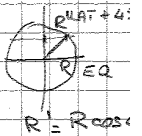


Volando lungo un parallelo a parità di distanza percorsa a latitudini diverse si hanno diversi incrementi di longitudine!

Es: se volo x 1000 km all'equatore ho incremento di 9.5° LONG
ma se volo per 1000 km + a Nord (LAT + 45°) avrò



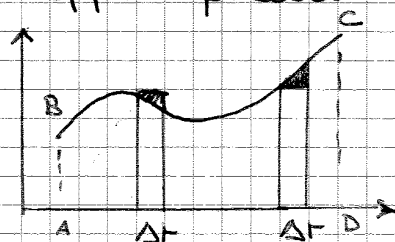
un incremento di 13.5° LONG.
→ OCCHIO ALE COORDINATE LAT-LONG!



* DERIVA DEL GIROSCOPIO

Errore dovuto all'accumulo degli errori delle integrazioni numeriche.

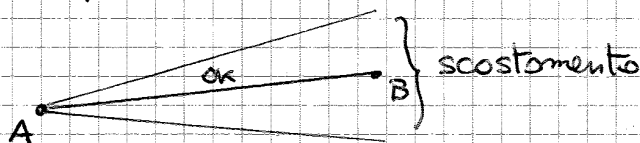
- NATURA → CONTINUA
- CALCOLO CON COMPUTER → DISCRETO ⇒ errori, seppur piccoli



$$\int_A^B f(t) dt = \text{AREA ABCD}$$

Es: Partendo dall'Europa diretto verso New York compio un errore di 3-4 miglia: va beh, ci può stare, finisco lo stesso nell'ILS!

- Voglio fare un atterraggio cieco: SONO CAZZI!
Non posso tollerare un tale scostamento.



Dov'è l'errore? Nella costante di integrazione!

$$X_i = X_{i-1} + \int \dot{x} dt$$

COME RISOLVERE? AGGIORNARE CON COORDINATE NOTE durante il volo!

Es: PASSO SULL'ISOLA DI COORDINATE X_A, Y_A → LE INSERISCO

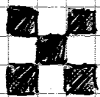
SISTEMI AVIONICI 19/03/2013

LEZIONE 7

CONTROLLO del TRAFFICO AEREO

A.T.C. - Air Traffic Control

- In Italia gestito inizialmente dall'Aeronautica Militare
- Scorporamento del controllo del traffico aereo militare e civile



ENAV → corporazione statale

Monitoraggio tramite radar del traffico: onde radio inviate da terra e captate da aereo e rinviate subito al radar

→ RILEVAMENTO DELLE COORDINATE

da 2002 RVSM - 1000 ft tra FL 290 e FL 410

- Separazione verticale [1000ft sotto FL 290, 2000 ft sopra FL 290]
- Gestione del traffico in prossimità degli aeroporti.

!-CURIOSITÀ!-

Separazione orizzontale: VORTICI DI ESTREMITÀ

Il problema si comprese quando un PIPER finì nella scia di un 747 e si distrusse in volo, ACCARTOCCIATO DAI VORTICI. Il Boeing era passato da 5 minuti!

L'aria infatti è poco viscosa, ha una scarsa capacità STORZANTE

Ing. Marco Fioriti

20/03/2013

A.T.M. = AIR TRAFFIC MANAGEMENT

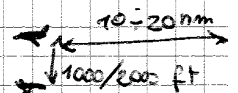
Traffico aereo \leftarrow SICURO
REGOLARE
\searrow EFFICIENTE

FUNZIONI DI

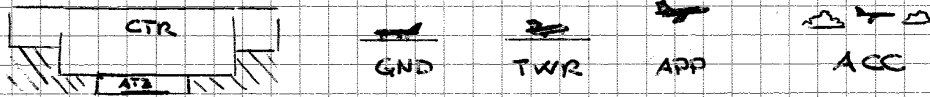
• ATC - CONTROLLO TRAFFICO AEREO, AUTORIZZAZIONI e SEPARAZIONE DEI VELIVOLI

• FIS - FLIGHT INFORMATION SERVICE INFO UTILI AL VOLO: METEO, SITUAZIONI DI TRAFFICO VIENE DATO A TUTTI

• COMUNICAZIONI VOCALI e DATA LINK



CONTROLLO TRAFFICO AEREO



A.T.Z. AERODROME TRAFFIC ZONE : TWR e GND

C.T.R. CONTROL ZONE : APP

T.M.A. TERMINAL CONTROL AREA : ACC

AWY AIRWAY (A5, A14): sopra FL 195
 → UAS, UA 37, JL21
 LARGHEZZA 10 nm

FIR : FLIGHT INFORMATION REGION (fino a FL 195): FIC

UIR : UPPER INFORMATION REGION : ACC sotto FL 460, solo FIC oltre 460

- Le TMA sono molto estese : per esempio la TMA di Milano copre anche l'aeroporto di Cosette
- I grandi aeroporti che operano in IFR attorno all'ATZ hanno la CTR = Control Region, controllata dall'APP = Approach control
 - I piccoli aeroporti da turismo non hanno la CTR

TWR



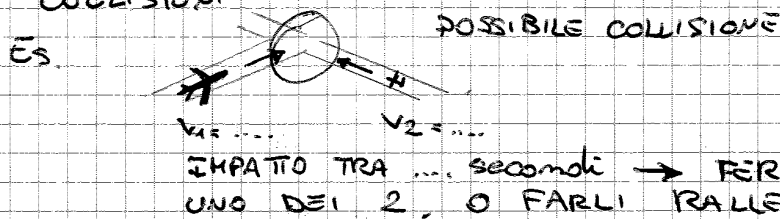
CONTROLLO DELLE FASI DI DECOLLO, ATTERRAGGIO, RULLAGGIO e MOVIMENTI A TERRA

Tecnologie con cui opera:

- A VISTA
- ASMI : Aerodrome Surface Movement Indicator
- SMR : SURFACE MOVEMENT RADAR
 → RADAR DI TERRA
 - SISTEMA + AVANZATO DI QUELLO ASMI
 SI PUÒ SAPERE IN QUALE PUNTO È L'AEREO, LA DIREZIONE e LA VELOCITÀ CON CUI SI SPOSTA

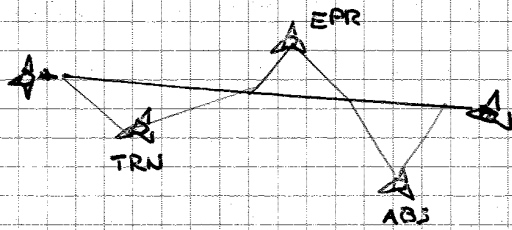
- A-SMGCS

ELABORA TUTTE LE INFORMAZIONI ED È IN GRADO DI FORNIRE ALLARMI SU POSSIBILI COLLISIONI



II AREA NAVIGATION (R-NAV)

Il velivolo non è + costretto a sorvolare la stazione di radio assistenza ma con il VOR/DME faccio il punto. Integriamo le info del VOR/DME con GPS e piattaforme inerziali.

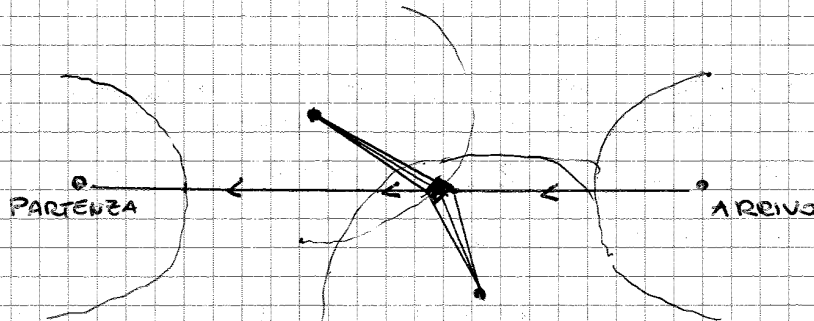


WAYPOINT VIRTUALI

Non si sorvola + il VOR, però si congestiona il traffico in zone coperte dalle radio assistenze

→ NON MOLTO FLESSIBILE

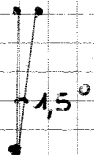
LE AEROVIE HANNO I VOR/DME COME RIFERIMENTI



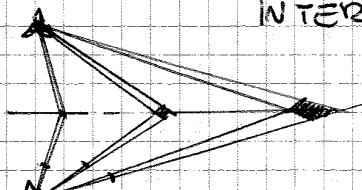
⚠ ALCUNE AEROVIE OGGI SONO DI CATEGORIA R-NAV E SOLO I VELIVOLI IL CUI SISTEMA È ABILITATO R-NAV POSSONO VOLARE!

Problema: INCERTEZZA DEL POSIZIONAMENTO

- ERRORE DI MISURA DELLA RADIALE: $\sim 1,5^\circ$



Un errore di un grado su grandi distanze può voler dire un errore di chilometri sulla rotta!



INTERSEZIONE RADIALI → AREA DI INCERTEZZA CHE CRESCE AL CRESCERE DELL'ANGOLO

Stesso errore angolare, distanze ↑ → AREA INCERTEZZA ↑

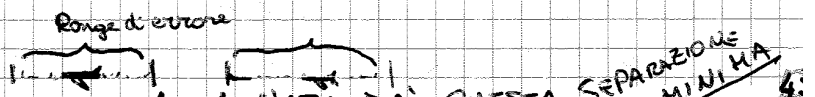
Volassimo da soli non ci sarebbe problema, ma i cieli sono TRAFFICATI!

→ consideriamo già la navigazione affetta da errori

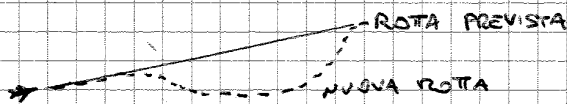
CERTIFICAZIONE DEI SISTEMI DI BORDO CONTENERE L'ERRORE

III PERFORMANCE BASED NAVIGATION

Si considera la condizione peggiore data dall'errore di posizionamento



Il sistema può comunicare direttamente all'autopilota una variazione di rotta con un DATA LINK (ADSB).



AUTOMATIC
DEPENDENT
SURVEILLANCE
Broadcast Mode

PRIMARY SURVEILLANCE RADAR



Radar tradizionale

ANTENNA
DIREZIONALE

- Rilevare aerei nello spazio aereo
- Misurare Range and Bearing dell'aereo

ONDE ELETTROMAGNETICHE RIFLESSE

o DISPOSITIVO Moving Target Indicator:

riesce a distinguere l'onda riflessa da un ostacolo fisso o da uno in movimento.

- TUTTO CIÒ CHE È FERMO INVIA SEMPRE LA STESSA IMMAGINE: in 2 scansioni successive NON VARIA LA RISPOSTA → sottrazione e si toglie il segnale dell'onda da ostacolo fisso

☀️ NON PERMETTE DI CONOSCERE LA QUOTA DEL VELIVOLO RILEVATO

SECONDARY SURVEILLANCE RADAR

ANTENNA
DIREZIONALE
PIATTA

→ PERMETTE DI INTERROGARE IL TRANSPONDER DEL VELIVOLO (1030 MHz)

→ VELIVOLO RISPONDE (1090 MHz)

⚠️ MA INTERROGANDO TUTTI I VELIVOLI A QUELLA FREQUENZA NON C'È IL RISCHIO CHE LE RISPOSTE SI SOVRAPPONGANO?

E SE LA freq è sempre la stessa come distinguo i velivoli?

→ NON SI SOVRAPPONGONO XK LA RISPOSTA È MOLTO RAPIDA (entro 20 Microsecondi)

perciò AEREO + VICINO → RISPOSTA ARRIVA PRIMA

→ DIPENDE DAL MODO DI INTERROGAZIONE MA OGNI TRANSPONDER HA IL SUO IDENTIFICATIVO

LA STESSA ANTENNA INTERROGA UN SOLO VELIVOLO PER VOLTA, e fa sia da TX che da RX.

o MEGLIO,
UNA FASCIA
DIREZIONALE
X VOLTA

• Frequenza di interrogazioni: 450 Hz

→ 2,2 MILLISECONDI TRA UN'INTERROGAZIONE E L'ALTRA

IN QUESTO TEMPO C'È

*

TX → segnale al velivolo → RIMANDATO DA TRANSPONDER

→ RX → elaborazione → DI NUOVO TX

5

SORVEGLIANZA on-board: TCAS

Aggiungendo una scheda in + al transponder, questo può interrogare ALTRI TRANSPONDER e prevedere una possibile collisione in volo. ^{SE L'ALTRO AEREO HA IL TRANSPONDER SPENTO} ^{5 FOTTUROI}

Il TCAS dà l'olloreme e dà al pilota info su come manovrare x evitare la collisione



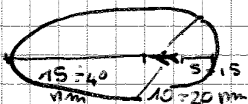
il pilota è LIBERO di fregarsene di quello che dice il TCAS

• TCAS può tracciare fino a 30 aerei

TCAS si suddivide in TCAS I e TCAS II

TCAS I: RANGE e BEARING di un velivolo nel range di

- 15 ÷ 40 nm FORWARD
- 5 ÷ 15 nm AFT
- 10-20 nm ON EACH SIDE
- ± 3700 ft of the aircraft's altitude

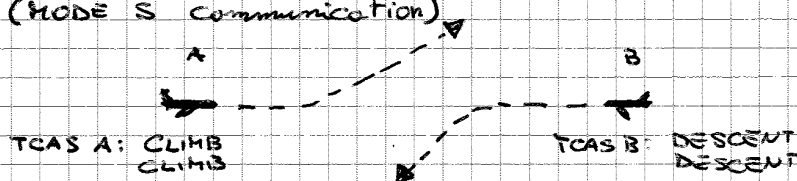


Quando i "confini di sicurezza" sono violati il TCAS emette un TA - TRAFFIC ADVISORY per alertare l'equipaggio.

- TA emesso tra 20 e 40 s prima del punto di MASSIMA VICINANZA
- TCAS I non fornisce soluzioni x risolvere il conflitto

TCAS II → RA = Resolution Advisory

- DETERMINA IL MOTO RELATIVO DEI 2 AEREI
- ELABORA UNA MANOVRA DI RISOLUZIONE IN COORDINAZIONE con il TCAS dell'altro velivolo (MODE S communication)



RA emesso tra 15 e 45 s dal punto di closest approach

SAFETY

$$\text{Accident Rate} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ INCIDENTI}}{\text{N}^{\circ} \text{ PARTENZE}}$$

in futuro partenze $\uparrow \Rightarrow$ se A.R. = COST \Rightarrow N^o INCIDENTI \uparrow
NO GOOD !!

NOI VOGLIAMO CHE L'ACCIDENT RATE SCENDA

OBIETTIVI DI SESAR: 2020

AMMODERNAMENTO DEL SISTEMA ATM IN EUROPA PER

- + 200% CAPACITÀ SPAZIO AEREO (triplicata)
- - 50% COSTI ATM
- + 10X FATTORE DI SICUREZZA
- - 10% IMPATTO AMBIENTALE PER VOLO

Sesar impatto su 3 SOTTOSISTEMI AVIONICI:

CNS - Communication Navigation Surveillance
 \rightarrow NUOVI SISTEMI E NUOVE PROCEDURE

1) COMUNICAZIONI

VHF - comunicazioni in linea di vista

HF - comunicazioni oltre l'orizzonte, onde ionosferiche

PROBLEMI:

a) SATURAZIONE BANDA AERONAUTICA VHF

b) COMUNICAZIONI DISTURBATE e TALVOLTA INCOMPRESIBILI

- Necessità di fare "COPY"

ATC: "Climb to FL 290" PILOT: "Roger, Climb to FL 290"

\rightarrow Lungo tempo di occupazione del canale

c) COMUNICAZIONI VOICE TALVOLTA DIFFICILI DA DECIFRARE

\rightarrow richiedono tempo prima che il pilota intraprenda un'azione

DOMANI CON SESAR

- COMUNICAZIONE IN DATA LINK, togliere le comunicazioni vocali \rightarrow libera il canale prima ed è + precisa
- I comunicaz. digitali a bit ha i suoi codici x

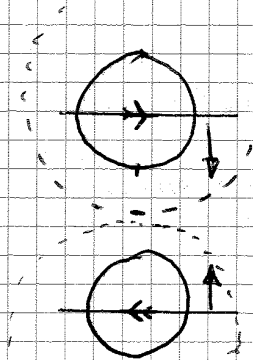
PDE: Path Definition Error: numero finito di cifre con cui il sistema sa la mia posizione

FTE: Flight Technical Error: non si vola perfettamente dritta, ma è una correzione continua.

ANP: ACTUAL NAVIGATION PERFORMANCE → STIMA DEL REALE ERRORE DI NAVIGAZIONE

RNP: REQUIRED NAVIGATION PERFORMANCE → ATC ASSEGNA IL MASSIMO ERRORE TOLLERABILE

Effetto RNP → AVENDO UNA MAGGIOR ACCURATEZZA (errore di posizionamento confinato) SI POSSONO AVVICINARE 2 ROTTE SENZA ledere la safety.



bassa accuratezza posizionamento
 alta accuratezza → POSSIAMO AVVICINARE LE AIRWAYS E OTTIMIZZARE LO SPAZIO AEREO

TIME BASED NAVIGATION → Navigazione 4D

↳ ERRORE TEMPORALE DI ARRIVO SUL WAYPOINT

Aumentando la precisione temporale posso far passare sullo stesso waypoint 2 aerei alla stessa quota in un intervallo di tempo ristretto, senza bisogno di separarli verticalmente

CI METTO 35 SECONDI A ARRIVARE

CI METTO 1.50 A ARRIVARE

LE STIME SONO PRECISE CON UNA TOLLERANZA DI 30 S. CONTINATE COSI!

→ CERTIFICARE CHE L'ERRORE TEMPORALE DI ARRIVO SIA ± 30 s o di ± 10 s per il 95% DEL VOLO. (arrivo)

ETA - RTA $< \pm 10$ s (crociera)
 ETA - RTA $< \pm 30$ s

GNSS: Global Navigation Satellite System

INTEGRAZIONE TRA COSTELLAZIONI DI SATELLITI

APPARATO DI BORDO CHE FA IL DATA-FUSION TRA I SEGNALI PROVENIENTI DALLE VARIE COSTELLAZIONI

- GPS
- GALILEO
- GLONASS
- Beidou (Cina) e IRNSS (India)

ULTERIORE RAFFINAZIONE DELLA STIMA DI POSIZIONE

SISTEMI AVIONICI 9/04/2013

... CONTINUA DA SESAR

SESAR & I MILITARI

Con Sesar tutti (militari inclusi) dovranno attenersi alle regole comuni.

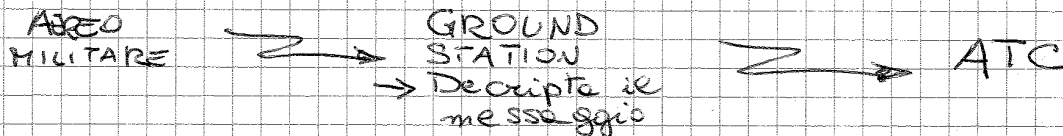
OGGI: militari si prendono i loro spazi aerei, completamente svincolati dall'ATC

DOMANI: si vuole sapere con PRECISIONE (come x gli aerei civili) il tempo di arrivo nel punto di accesso dell'area riservata.

COMUNICAZIONI MILITARI: MIDS / Link 16

↓
RETE CRIPTATA

Come comunicano i militari con l'ATC civile?



- MISSION COMPUTER: Tempi di arrivo sul waypoint con una certa confidenza

▲ IFF - Identificatore Friend or Foe SURVEILLANCE

Tutti questi display necessitano di un sistema di computer a monte!

BOEING

EADI

EHSI

AIRBUS

PFD - Primary Flight Display

ND - Navigation Display

-!- Curiosità -!-

Perché l'Airbus vende al polo negli Stati Uniti? XK
la maggior parte dei suoi equipaggiamenti è prodotta
da General Electric, che ha un sacco di "esponenti"
al congresso

→ ha + uomini di Boeing → è + influente!

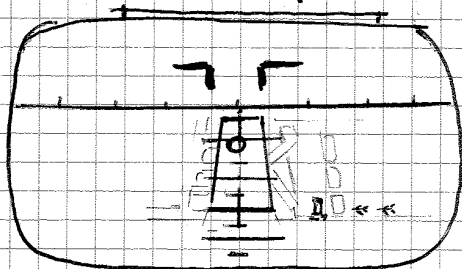
HUD - HEAD UP DISPLAY

HUD su jet militari: 3 modi di funzionamento

- COMBATTIMENTO ARIA - ARIA
- ATTACCO AL SUOLO
- MODO ATTERRAGGIO

↓
Comporre in maniera semplificata la pista proiettata
sul display → COLLEGATO ALL' ILS

→ Vedo la pista anche a VISIBILITÀ ZERO!!!



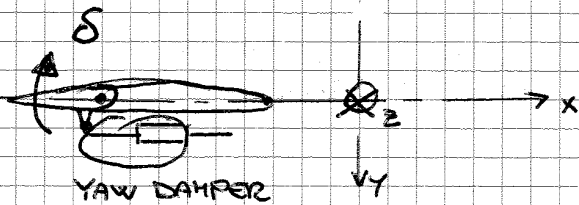
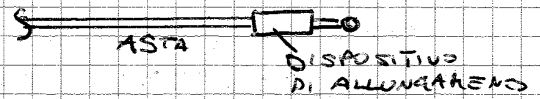
• Immagine con il fuoco all'infinito

→ l'immagine sempre essere sovrapposta al mondo esterno!

⚠ Per grosse perturbazioni l'autopilota si disconnette rimettendo i comandi al pilota.

AUTOPILOTA se non ci sono attuatori idraulici: DISPOSITIVI SERVO CHE ALLUNGANO/ACCORCIANO LA LINEA DI TRASMISSIONE MECCANICA

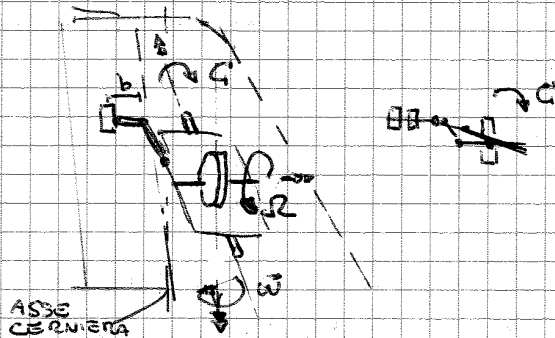
YAW DAMPER



Il giroscopio sente la velocità di imbardata w_z

→ NASCE COPPIA GIROSCOPICA
 $C_y = -\vec{w} \wedge J_z \vec{\omega}$

Telaio giroscopico collegato all'asta di comando del timone → CORREZIONE IMBARDATA



SMORZAMENTO ↔ VELOCITÀ

$$\delta = K C_y$$

$$\delta = -K' w_z$$

AZIONE SMORZANTE



NORMALE



SMORZANTE

Quando deve smorzare un'imbardata verso destra, lo YAW DAMPER (spingendo indietro) fa fare un'imbardata correttiva verso sinistra!

Sistema TFC TORNADO



TFC = Terrain Following Computer

Tornado, aereo da attacco al suolo.

Fondo volare a 200 ft (60 m) e $M = 0,95$ (1100 km/h)

→ fogli evitatore ogni minimo ostacolo: collinette, montagne, ...

RILEVARE OSTACOLO IN ANTICIPO → ALZARSI

→ RIABBASSARSI APPENA TERMINATO L'OSTACOLO

Dov'era la finilite? Volare basso x non farsi rilevare dai radar aerei e di terra: la sua traccia radar si confondeva con quella del terreno [ANNI '70-'80]

□ SELF CONTAINED NAVIGATION SYSTEM

- Piattaforma a 2 GYRO di posizione
- Air Data Computer → IAS → TAS
- Radar Doppler: mi dà la GROUND SPEED

NAVIGAZIONE AUTONOMA

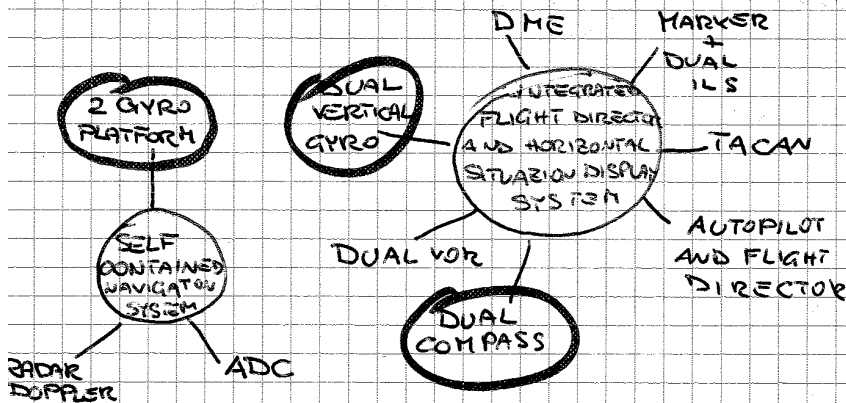
⊙ RADAR

- Meteo
- Radar altimetro
- ATC IFF: Identifier Friend or Foe

! Curiosità:

La 46^a Brigata Aerea di Pisa gestiva i trasporti aerei e prima del G222 aveva i C-119. Erano sempre ommaccati! Perché? Non avevano il radar meteo e volavano sempre in mezzo a formazioni di ghiaccio!

Il G222 era già + avanzato

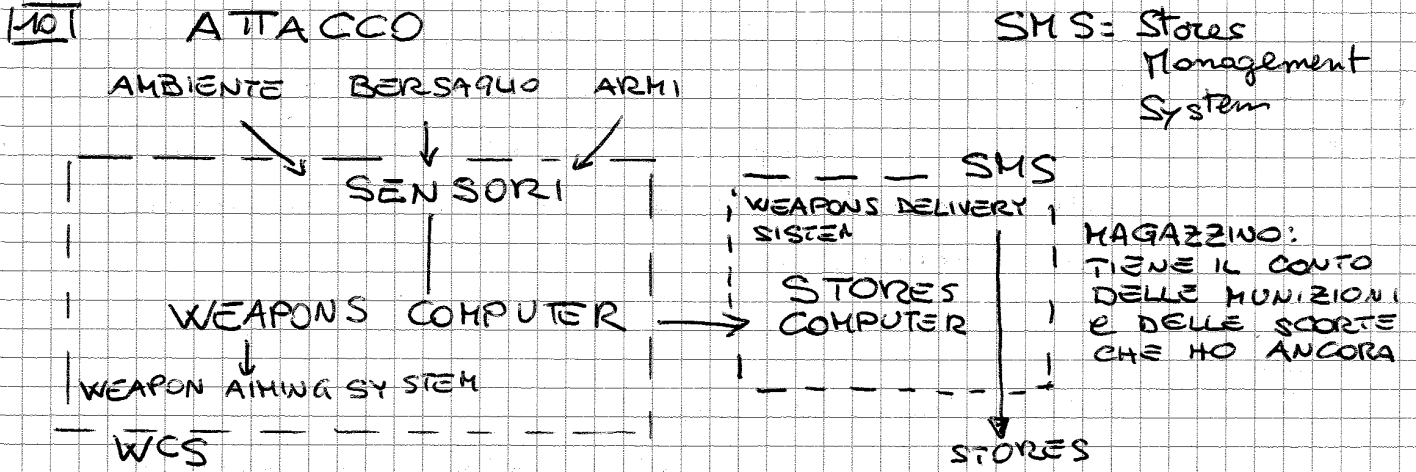


... MA C'ERA ANCORA DA LAVORARE SULLA INTEGRAZIONE!
 Perché avere 6 GYRO:
 2 per piattaforma INS
 2 per ADI
 2 per HSI (girobussola)
 quando ne basterebbero
 2 che condividono i dati?

➡ SALTANDO AVANTI DI 20 ANNI:

ATR 42

AVIONICA da COMBATTIMENTO



WCS = Weapons Computer System

DIFESA → DEFENCE COMPUTER

Un missile ci sta correndo dietro:

- MISSILE A GUIDA INFRAROSSA, SEGUE LA TRACCIA DI CALORE. CONTROMISURA: FLARES

- MISSILE A GUIDA RADAR: IL SUO RADAR CI RILEVA! CONTROMISURA "DEI POVERI": CHAFFES
 sparo fuori una nube di pezzetti di carta stagnola, che appaiono come un muro al radar del missile.

→ Curiosità: il Tomador ha un database con i nomi radar nemici che dice "x il radar xy 123 servono 10 striscoline di stagnola da 4 cm"

→ UNA TAGLIERINA AUTOMATICAMENTE SMINUZZA L'ALLUMINIO! CHE POI VIENE SUBITO LANCIATO DOPO IL TAGLIO!

- CONTROMISURE ELETTRONICHE
 Si cerca qual. frequenze può ricevere il missile e si emettono onde radio di disturbo.

⇒ CONTRO-CONTROMISURE: radar emette/riceve a frequenze random.

- ▶ MISSILE A GUIDA LASER: ...

Il sistema può solo darci un WARNING!

LEZIONE 12 & 13

AVIONICA MODULARE INTEGRATA

SISTEMA AVIONICO → GESTORE DEI SISTEMI
NON AVIONICI

INTEGRAZIONE

- INTERNA - TRA APPARATI → Data Bus
- CON ALTRI SISTEMI → computer in rete
- COL VELIVOLO → ingombri, pesi,
RAMS:
Reliability Availability
Maintainability Safety

EVOLUZIONE DELL'AVIONICA

1910: RADIO

1920/30: VOR

1940: RADAR

1950: APPARATI NON INTEGRATI, CALCOLO ANALOGICO

1960: PARZIALE INTEGRAZIONE, CALCOLO DIGITALE CENTRALIZZATO

1970-'80: SISTEMI INTEGRATI DATA BUS, CALCOLO DIGITALE
CON MICROPROCESSORI

1990: INTEGRAZIONE CON SOTTOSISTEMI, CALCOLO
DISTRIBUITO SU RETI DI CALCOLATORI

Quello che vola adesso

2000-2010: AVIONICA MODULARE INTEGRATA

? intelligenza artificiale

Il computer si fa tutte le sue simulazioni x
vedere se la decisione avrà successo o no.
Se devo tirare una bomba sul punto x_0, y_0
e sono ora sul punto x_1, y_1 con un vento che
tira di là se sgancio adesso lo manco,
se sgancio tra 4-5 mi avvicino....

DATA BUS



P RESTRICTOR, VALVOLA DI REGOLAZIONE DI PRESSIONE

Controllo pressione in arrivo: se è troppo alta il computer comanda alla valvola di chiudersi

Controllo temperatura in arrivo: se troppo alta aumenta la portata d'aria fredda in arrivo dal fan

A cosa serve l'aria di BLEED? [Aria a 200 °C!]

→ AZIONAMENTO DI ATTUATORI → turbomette

→ ANTIGHIACCIO

→ CONDIZIONAMENTO **13**

A UNO SMORZATORE → blocca le frequenze alte

• L'ALETTA VA SGHIACCIATA

TEMPORANEE TURBOLENZE

RESISTENZE ELETTRICHE

• consente solo i movimenti a frequenze + basse → combi

• ALETTA È COLLEGATA A UN SYNCHRO di assetto CHE DA UN SEGNALE ELETTRICO PROPORZIONALE ALL'INCIDENZA

STICK SHAKER

Vibrazione sui comandi → REALE x COMANDI REVERSIBILI

→ ARTIFICIALE x COMANDI POTENZIATI

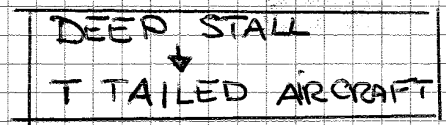
Da al pilota la sensibilità dei vortici dello stallo

STALL IDENTIFICATION SYSTEM

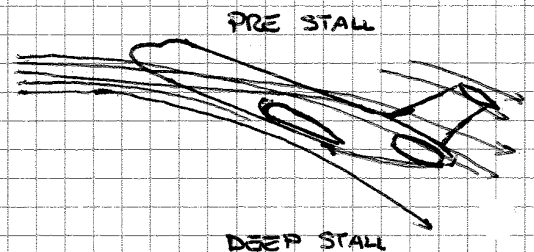
Lo stall warning avvisa quando lo stallo è in corso, non prima!

Per certi aerei però quando sei in stallo vai in stallo profondo e CADE!

→ AEREI CON CODA A "T"



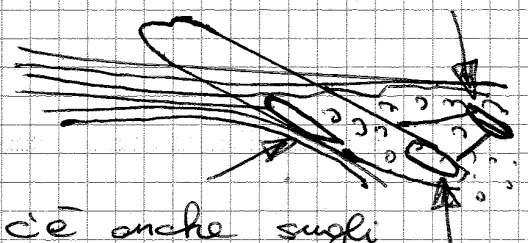
⚠ Va in stallo l'ala, lo stallo investe motori e IMPENNAGGIO ORIZZONTALE.



Se va in stallo anche l'impennaggio come porto giri il muso?!

→ PROTEZIONE DA UNO STALLO EVENTUALE

PER α PROSSIMA A α_{st} LA BARRA VA AUTOMATICAMENTE GIÙ A PICCHIARE



[una protezione dal possibile stallo c'è anche sugli Airbus, che non hanno configurazione a T!]

CONFIGURATION WARNING SYSTEM

La posizione di ogni comando di volo è monitorata da dei sensori.

Se un comando è in una posizione non appropriata x il DECOLLO il sistema emette il warning.

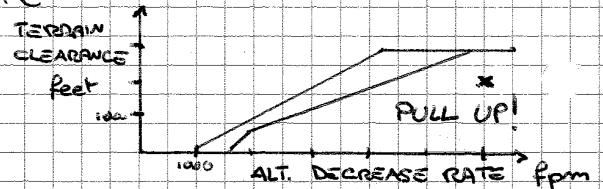
Es: non posso decollare con flaps 100%!

AURAL WARNINGS DEL TAXIS

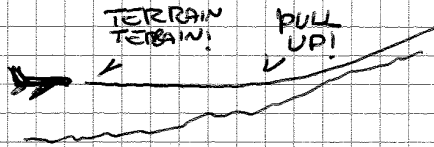
Mode 1: EXCESSIVE DESCENT RATE



x: Sei a 2000 ft dal suolo e scendi un una V/S di 6000 fpm! → in 20 secondi ti schianti!



Mode 2: EXCESSIVE TERRAIN CLOSURE RATE



Se io mi avvicino VELOCEMENTE ad un terreno VICINO parte l'avviso di "PULL UP!"

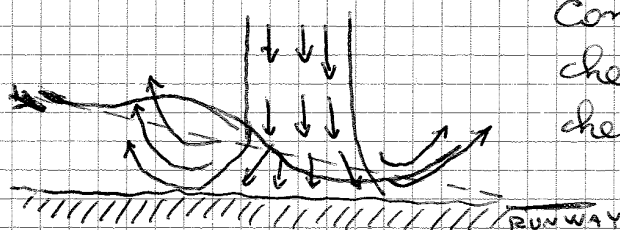
Mode 3: NEGATIVE CLIMB RATE AFTER TAKE OFF

Mode 4: FLIGHT INTO TERRAIN WHEN NOT IN LANDING CONFIGURATION

Mode 5: EXCESSIVE DOWNWARD DEVIATION FROM ILS G.S. Deviazioni del GLIDESLOPE PATH durante l'atterraggio ILS

Mode 6: ALTITUDE CALLOUTS AND BANK ANGLE CALLOUT In atterraggio il sistema "pronuncia" le altitudini

Mode 7: WIND SHEAR → RAFFICA DISCENDENTE VICINO A TERRA



Come fa il sistema a dirmi che ci sarà una raffica PRIMA che questa mi investe?

2 PARAMETRI CARATTERISTICI:

- movimento in alto/basso dell'aereo
- vento in prua/poppa (prima/dopo la raffica)

VENTO FORTE IN PRUA + UPDRAFT → STO x 14BATTERI
IN UN WIND SHEAR → CAUTION

[24] Esempio di guasto

CSD = CONTINUOUS SPEED DRIVE

Il generatore di corrente DEVE girare sempre alla stessa ω (\rightarrow giri costanti) anche se il motore a monte funziona a regime variabile
 \rightarrow il CSD è come un cambio automatico

SISTEMI AVIONICI 11/04/2013

EICAS - Engine Indicating and Crew Alerting System
Compre sui 2 display centrali e ci mostra tutti i dati del motore / 1.

Che differenza c'è tra EICAS e la schermata motori dell'ECAM? NESSUNA!

L'EICAS è una "sottopagina" dell'ECAM.

Mostra vari parametri

- EGT
- % GIRI DEI MOTORI
- ... EPR

HUMS - Health and Usage Monitoring System

Manutenzione basata sull'effettivo stato di salute


del componente \rightarrow MONITORAGGIO DELLE CONDIZIONI OPERATIVE DELL'AEREO

Spettro di carico del velivolo \leftarrow

- Rilevazione di TEMPERATURE, PRESSIONI, VIBRAZIONI, ENTITÀ DELLE MANOVRE...
- ... e REGISTRAZIONE DEL TUTTO (FDR)

LEZIONE 15

SISTEMI DI CABINA ATA 44

• PA - Passenger Address System  BRAKE!
BRAKE!
Comunicazioni audio verso i passeggeri → SAFETY PURPOSE

• Flight Attendant Panel

Regolazione e controllo degli apparati di cabina:

- ILLUMINAZIONE
- TEMPERATURA
- SISTEMA AUDIO (volume, annunci voci)
- WATER AND WASTE

— 1. Curiosità: perché in decollo e atterraggio in cabina sono spente le luci? Perché non sottraggono potenza elettrica ad apparati seri in una fase critica del volo.

• IFE - In Flight Entertainment

Elettronicamente parlando su cosa si basa la scelta delle cose da vedere? → MULTIPLEXER

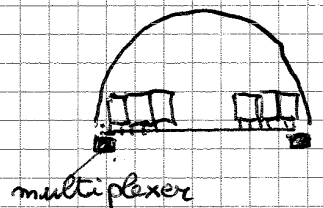
[Tutto l'IFE è alimentato in continua]

OGNI BLOCCO DI SEDILI HA IL SUO ATTACCO ALLA "RETE" DI SEGNALI, con MULTIPLEXER

Es: 16 consoli in ingresso

→ 16 cavi arrivano al multiplexer

* 1 solo arriva allo schermo del sedile



⚠ Questo sistema è ANALOGICO!

ORA INVECE USI DATA BUS ED È TUTTO DIGITALE

Comessione a internet → IRIDIUM SATELLITE SEGMENT

⚠ 13 IFE SYSTEM SAFETY REGULATION

IFE è COMPLETAMENTE INDIPENDENTE DA OGNI ALTRO APPARATO O SISTEMA DELL'AEREO: così una failure dell'IFE non compromette la safety dell'aereo

* MULTIPLEXER 16:3 (3 sono le postazioni video, 1 per sedile)

anziché far arrivare 16 cavi x sedile ne arrivano

16 PER FILA.

** i monitor che danno la posizione ai passeggeri da dove la prendono? Dal GPS, da FMS?

- Certificazione HARDWARE: RTCA DO-160E
 - compatibilità ambientale, ...
- Certificazione SOFTWARE: DO-178B

Gli EFB di classe 3 ottengono il Supplemental TYPE CERTIFICATE (CS25)

ARINC 429: l' EFB Class 3 si collega direttamente ai data bus del velivolo

EFB - 3 Software Classes

TYPE A: l' EFB SOSTITUISCE SOLAMENTE LA CARTA CHE AVREMO AVUTO A BORDO.

File reader: pdf, ...

Navigation chart, manudi di volo...

TYPE B: permette di interfacciarsi con l' aereo:
mappe 3D

↓
CLASS 2

Es: prende in input la nostra posizione e ci posiziona su una mappa globale e ci mostra immagini di quello che dovremmo vedere se siamo in approach a un aeroporto

TYPE C: Performance Application

↑
CLASS 3

• DETERMINAZIONE DI PERFORMANCE DI TAKE-OFF e LANDING

V_1 : velocità oltre la quale bisogna decollare

V_R : velocità a cui iniziare la rotazione

V_2

sulla base delle condizioni ambientali sull' aeroporto, delle condizioni di carico, ...

Prima il pilota le calcolava (prima del decollo) usando grafici e tabelle.

- CONTROLLARE TELECAMERE DI BORDO
- MAPPE DELLE TAXIWAY (poteva stare anche su CLASS 2 con software TYPE B)

LEZIONE 17

HARDWARE & SOFTWARE

RIPASSO DI INFORMATICA e SOFTWARE AERONAUTICI

- VALVOLE TERMOIONICHE
 - TRANSISTOR
- } evoluzione dell'avionica
↓

ENGINE CONTROL

1950-60 : controllo elettronico analogico

1970-80 : " " parzialmente digitale

1980 : FADEC

FULL AUTHORITY DIGITAL ENGINE CONTROL

FLIGHT CONTROL

1970-'80 : CONTROLLO ELETTRONICO ANALOGICO con backup meccanico

1980-'90 : Controllo digitale comandi di volo secondari

85-90 : Controllo DIGITALE com. PRIMARI con backup meccanico

2000 : FLY BY WIRE

4 linee digitali x sicurezza

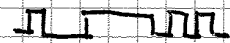
ANALOGICA : un segnale → 1 cavo

↓
variazioni di tensione AC variazione della grandezza

DIGITALE : DATA BUS, molte info e diverse destinazioni sullo stesso cavo

- granchezza (n° giri motore per es.) descritte da numeri binari → 2 soli valori di tensione : 0V - pochi mV

→ TRANSISTOR


1001110101

AVIONIC HARDWARE

- 3 BUS :
- ADDRESS BUS → n° bit A-BUS = numero di celle di mem.
 - DATA BUS → n° bit D-BUS = DIMENSIONE di una cella di memoria
[Cma non sempre]
 - CONTROL BUS

RAM

SRAM: Static RAM

I dati rimangono sopra finché non gli si sovrascrive sopra qualcosa o si stacca la corrente

DRAM: Dynamic RAM

I dati "spariscono" per via di corrente → ^{SERVE UN} REFRESH
 × TENERLI
 Hanno però una migliore risposta in termini di tempo

⚠ ALIMENTAZIONE : +5V

ROM

- ◆ MASK PROGRAMMED ROM: memoria generata già con quel codice (COSTRUITA COSÌ) → circuiti costruiti così → è FISSA, non riprogrammabile!
- ◆ OTP PROM: circuiti fusi, bit memorizzati sono legati alla struttura fisica della memoria
 La produco vergine e poi DOPO viene scritto il codice [è un po' + flessibile della MASK PROGRAMMED]
- ◆ UV EPROM: ROM cancellabili con un'esposizione ai raggi UV → TORNA VERGINE
- ◆ EEPROM = Electrically Erasable Programmable ROM

AVIONIC SOFTWARE

CMH: Capability Maturity Model, classifica dei costruttori di SOFTWARE

CMH Level 5 → sei forte!

Level 1 → sei scuro

- Codici di alto livello → C, C++

Prima dei codici di alto livello c'era il codice ASSEMBLY che comandava direttamente la CPU.

→ SI SCRIVEVA IN LINGUAGGIO MACCHINA!

SISTEMI AVIONICI 17/04/2013

AGGIORNAMENTO del SOFTWARE

↳ aggiornamento dell' ESEGUIBILE
" del DATABASE

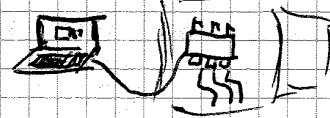
Esempio di database da aggiornare

TAWS - Terrain Awareness Warning System

Tiene conto non solo di montagne e colline,
ma anche di palazzi, tralicci, pale eoliche

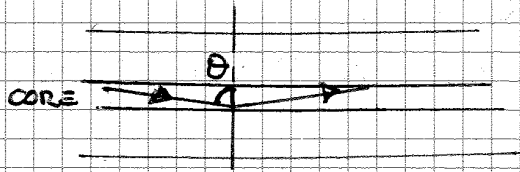
Come si caricano gli aggiornamenti?

- MEDIA DISTRIBUTION: FLOPPY, CD, Flash memory
- ELECTRONIC TRANSFER: si collega un computer all'apparecchio da aggiornare



La parte rifratta viene persa, e poi potrebbe dare anche interferenza.

Si sfrutta quindi la **RIFLESSIONE TOTALE**



θ : angolo di riflessione totale, molto grande

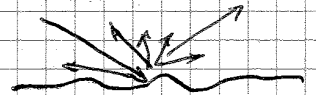
→ COSÌ SI PERDE IL MENO POSSIBILE NELLA TRASMISSIONE CON FIBRA OTTICA

$$\theta_c = \sqrt{\frac{2(n_1 - n_2)}{n_1}}$$

ATTENUAZIONE DEL SEGNALE. Perdita di 2 dB/km

→ perdita di intensità causata da

- ▶ ASSORBIMENTO dell'onda da parte del mezzo
- ▶ RADIAZIONE: energia assorbita irradiata colore
- ▶ SCATTERING: diffusione dovuta a micro-rugosità della superficie del core



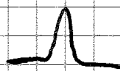
Si trasmette in INFRAROSSO xk il materiale di cui sono fatte le fibre ottiche assorbe poco quelle frequenze

DISPERSIONE ⚠ **DISPERSIONE ≠ ATTENUAZIONE !!!**

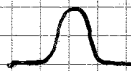
Forma d'onda stretta → molti bit al secondo

" " larga → meno bit al sec.

INPUT



OUTPUT



in $0,1 \text{ nsec}$

out 1 nsec

nello stesso ST mancano dei dati!

I produttori danno il DATA RATE NON TENENDO

CONTO DELLA DISPERSIONE



ATTENUAZIONE e DISPERSIONE SONO INFLUENZATE DALLA LUNGHEZZA DELLA FIBRA OTTICA

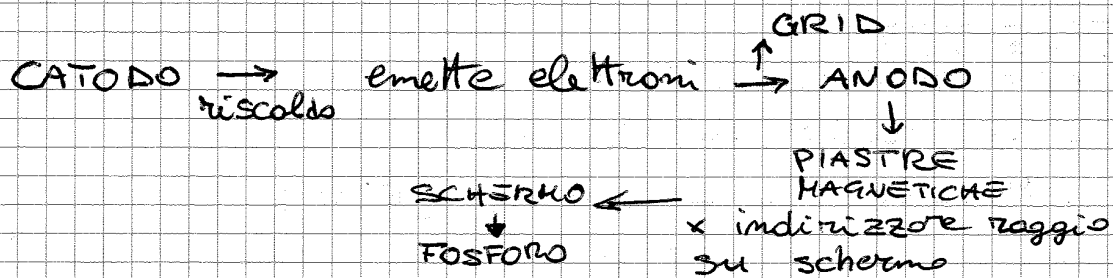
LEZIONE 19

TECNOLOGIE X I DISPLAY

- TUBO CATODICO
- LED
- CRISTALLI LIQUIDI

① TUBO CATODICO

- Pesante ma vantaggio: LUMINOSITÀ e ANGOLO DI VISTA
 Potevi metterti anche sottosopra sotto la TV e la vedevi bene lo stesso! (LCD non ce la fa)



TUBO CATODICO A COLORI

- 3 CATODI (fluori) RGB
- 3 GRID
- 1 ANODO → si fondono i 3 colori fondamentali dando origine a tutti i colori
- Display → 3 STRATI DI FOSFORO DI DIVERSI COLORI (RGB)

GRID: è come un otturatore, regola la luminosità



APERTURA VARIABILE

LUMINOSITÀ ↔ TONO

② LCD - CRISTALLI LIQUIDI

Proprietà ibride tra solidi e liquidi.

- Lasciano permeare determinate frequenze di luce a seconda di come sono POLARIZZATI

CRISTALLI LIQUIDI = FILTRO

2 tipi di display:

- i) REFLECTED DISPLAY: non si illuminano da soli, ma sfruttano la luce esterna
 → se è buio non vedi niente → CALLILATRICE
 Molto difficili da fare e colori x la luce passa 2 volte attraverso lo stesso pixel.

LEZIONE 20

ELECTROSTATIC SENSITIVE DEVICES

Cariche elettriche accumulate in volo (se non scaricate) possono danneggiare gli apparati avionici (e dare lo scosso al manutentore)

VOLO → ACCUMULO DI ELETTRICITÀ STATICA → PUÒ FINIRE NELLA BARRA AVIONICA

"SFREGAMENTO" RECIPROCO FRA CORPI

→ Scambio di e⁻

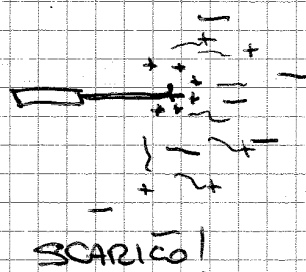
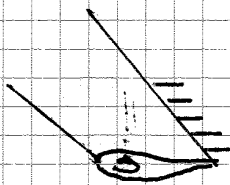
- Comminare su un tappeto di nylon: V = 35 KV!

AMBIENTE UMIDO:
si genera meno ddp

5 Intervalli di suscettibilità

Le cariche elettriche DISTURBANO LE COMUNICAZIONI

→ STATIC DISCHARGER



Accumuli le cariche in punta e sti così e poi loro scaricano nell'aria quando trovano un'area carica in segno opposto

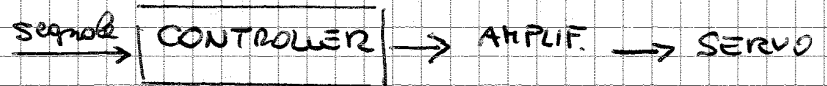
A319: 2 static discharger su ALA (o meglio, su ogni semi ala)

Manutenzione ⚠

Il manutentore deve mettersi al polso un laccetto WRIST STRAP in modo che non ci sia ddp tra di lui e gli apparati avionici che va a maneggiare. messo a terra ↓

SERVE A PROTEGGERE IL MANUTENTORE (secondo di Mes)

SISTEMI DIGITALI



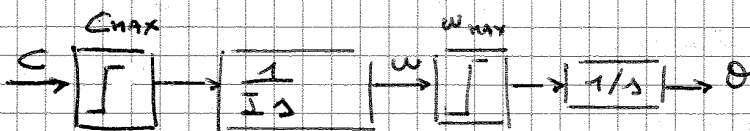
→ MOTORE PASSO-PASSO: Comando di posizione, si fa girare di un certo tot di gradi (o di tot frazioni di grado)

- ROTAZIONE DISCRETA e non continua: il numero di passi è definito dal numero di coppie di poli N-S, N-S, negli avvolgimenti del motore servo.

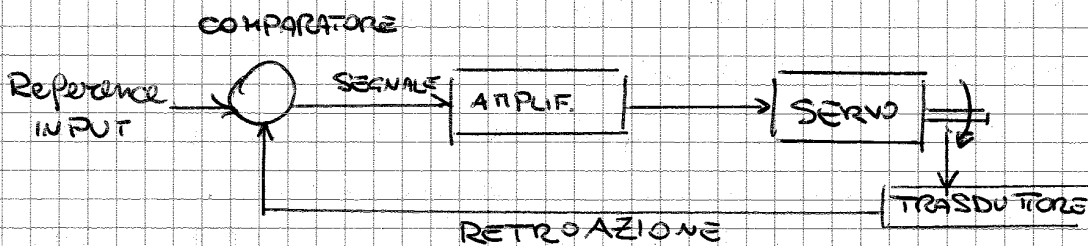
- n coppie poli ↑ → bisogna ridurre le dimensioni per aumentare la discretizzazione (scatti + piccoli)

↓
RIDUZIONE COPPIA EROGATA

↓
rischio che coppia erogata non vinca il carico.



ANELLO CHIUSO (o di retroazione)



Il sistema SA SE IL COMANDO È STATO AZIONATO E ANCHE DI QUANTO AVANZA PASSO e PASSO.

→ FEED BACK

Confronto tra segnale di input e output:

L'ATTUAZIONE CONTINUA FINCHÈ LA DIFFERENZA TRA I DUE SEGNALI NON SI ANNULLA →

PRINCIPIO DI RETROAZIONE

⚠ IL SISTEMA NON È INFLUENZATO DALLE VARIAZIONI DI CARICO →