



**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

**NUMERO: 2232A**

**ANNO: 2017**

# **A P P U N T I**

**STUDENTE: Nicola Enrico**

**MATERIA: Sistemi Aerospaziali - Prof. Corpino**

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.**

# SISTEMI AEROSPAZIALI,

SISTEMI AEROSPAZIALI → sistemi integrati complessi, necessitano di un approccio multidisciplinare (diverse competenze)

il corso si compone di 3 parti:

- ① SISTEMI SPAZIALI
- ② SISTEMI AERONAUTICI
- ③ RAMS

## AEROSPACE SYSTEMS ENGINEERING,

definizione di SISTEMA: "Insieme di componenti che producono risultati non ottenibili dai singoli componenti sommati"

$\sum(\text{valore dei componenti}) \ll \text{valore del sistema}$

un sistema è un INSIEME DI ELEMENTI strutturati in maniera tale da SVOLGERE UNA FUNZIONE per SODDISFARE DELLE SPECIFICHE

ELEMENTI → FUNZIONE → MISSIONE → REQUISITI DEL CLIENTE

La COMPLESSITÀ DEL SISTEMA è funzione del numero di componenti che lo compongono

Per ridurre la complessità di un sistema lo si scompone in sottosistemi.

Quanti?

$$\text{n° di livelli} = \frac{\log(\text{n° di componenti})}{\log(17)}$$



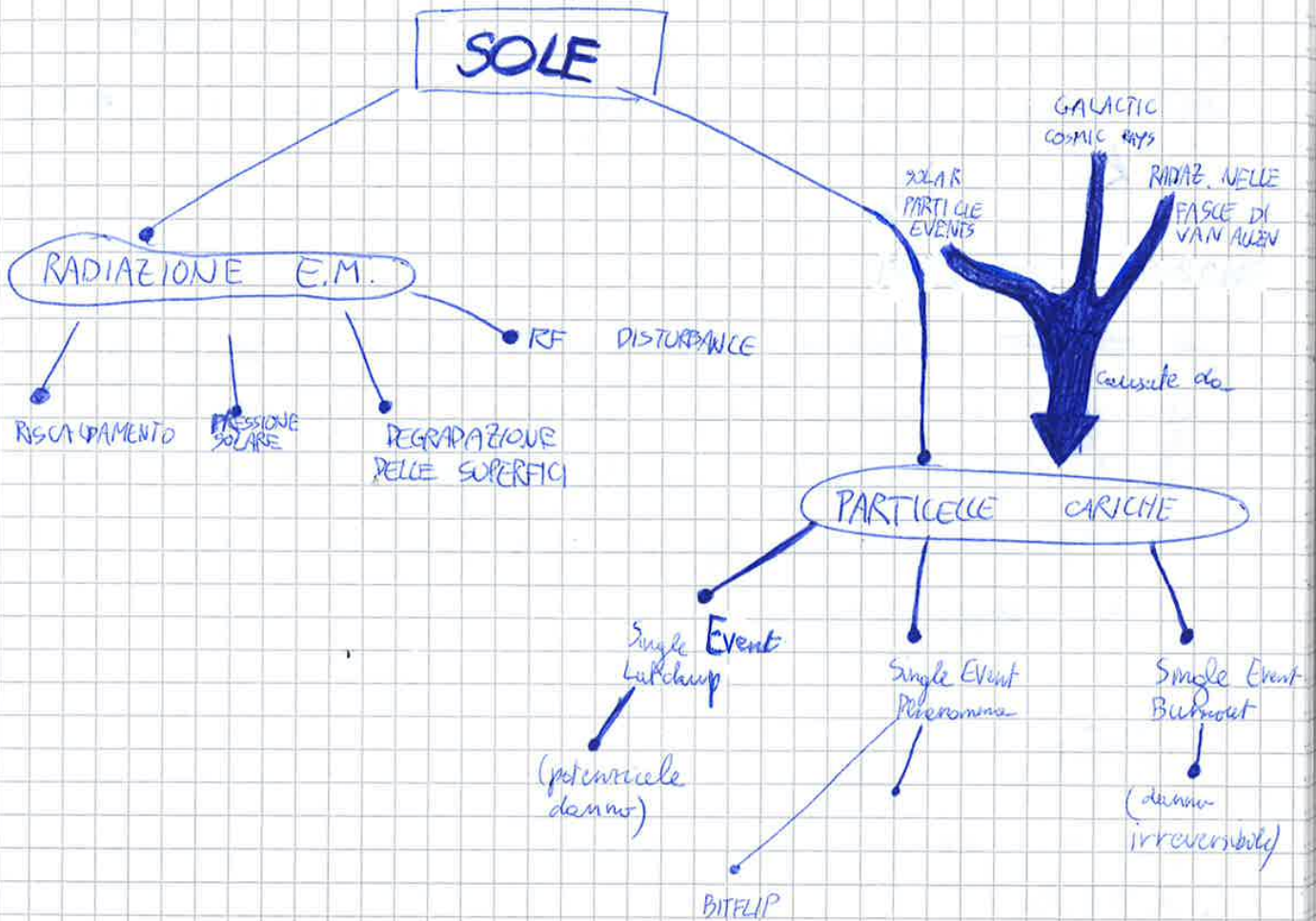


④ INTERFERENZA SU GLI APPARATI ELETTRONICI

Emissione di particelle cariche → SOLAR PARTICLE EVENTS

GALACTIC COSMIC RAYS

FASCE DI VAN ALLEN



CHARGING → differenti parti dello SC si caricano durante il passaggio dello SC in aree a carica concentrata (e.g. fasce di Van Allen) e la scarica può avere effetti disastrosi

SPUTTERING → lo SC è investito da micro particelle ad altissime velocità ed è quindi come se venisse colpito da un vento di sabbia

## MMOD

Micrometeoroids and Orbital Debris

SINDROME DI KESSLER → accumulo di detriti di oggetti artificiali in orbita

oltre ai detriti di origine artificiale ci sono più di 20000 tonnellate di materiali naturali che colpiscono la Terra ogni anno, rischiando di colpire se in orbita

Questi MMOD si concentrano nelle orbite polari ed equatoriali

anche oggetti piccoli (briciola di vernice) possono causare molti danni poiché viaggiano ad altissime velocità

SOLUZIONI?



ci sono anche misure "passive" che riducono il numero di detriti prodotti dagli sc a fine vita (orbite cimitero, rallentamento degli sc a fine vita...)

## EFFETTI DELLO SPAZIO SUGLI ESSERI UMANI

gli esseri umani aggiungono una flessibilità ed una capacità decisionale non raggiungibile dalle macchine

CADUTA LIBERA

RADIAZIONI

NUOTO



## ELEMENTI DI UNA MISSIONE SPAZIALE:

- SISTEMA DI LANCIO (SEGMENTO DI LANCIO)
- ORBITA
- ARCHITETTURA DELLE COMUNICAZIONI
- SEGMENTO DI TERRA
- OPERATORI DI MISSIONE
- ARCHITETTURA DI COMANDO E CONTROLLO

## SEGMENTO DI LANCIO

porta il payload in orbita dandogli una elevata velocità all'inizio del lancio.

possono essere classificati per:

DIMENSIONI

- sounding rocket
- small lift launch
- medium lift launch
- heavy lift launch
- super heavy lift launch

TIPO

- expendable
- reusable

e.g. - lo space shuttle che si compone di un orbiter, 2 propulsori a propellente solido ed un serbatoio

## SATELLITI E SONDE

I satelliti sono oggetti artificiali posti in orbita attorno ad un pianeta o ad una stella, mentre le sonde sono oggetti artificiali inviati verso lo spazio interstellare.

### SATELLITI

- Telecomunicazioni
- Navigazione
- osservazione della Terra
- Scienza
- Tecnologia

### SONDE

- Esplorazione
- Scienza

## VEICOLI SUB-ORBITALI

altitudini di  $\sim 100$  km ma non entrano in orbita prevalentemente per scopi commerciali (turismo)

## STAZIONI DI TERRA

servono per comunicare con SC nello spazio

## SITI DI LANCIO

devono essere posti più vicino possibile all'equatore, così da sfruttare l'acceler. centrifuga della Terra

servono per lanciare nello spazio SC

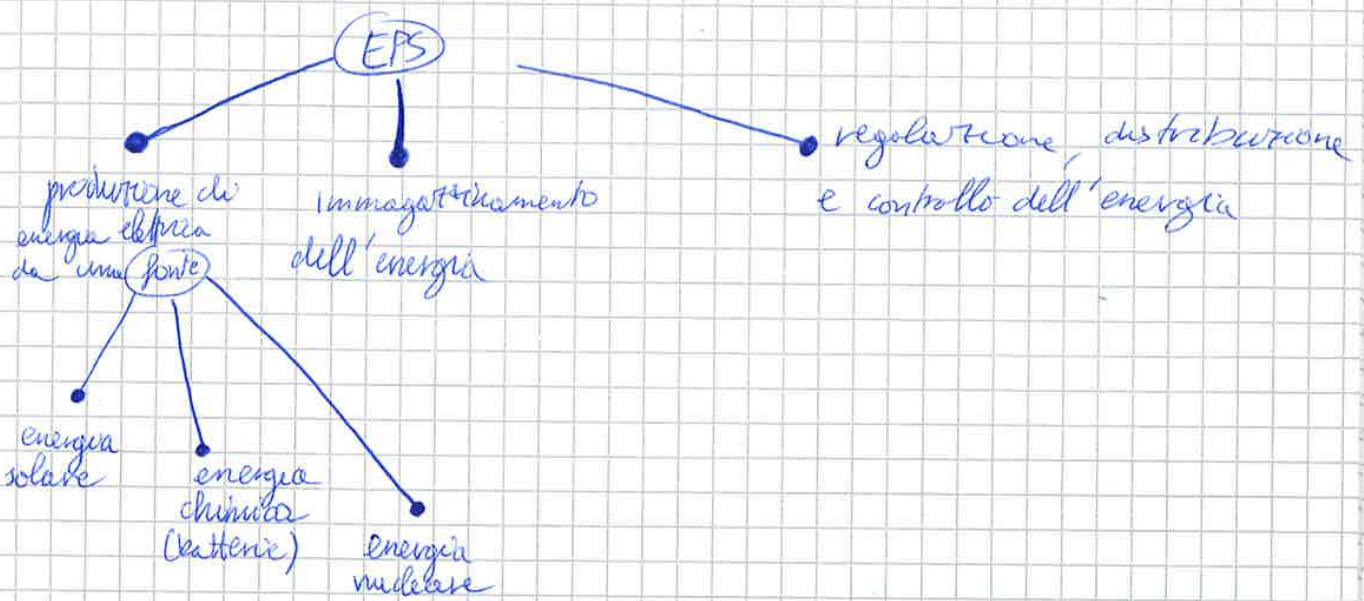
e.g.: Centre Spatial Guyanais

## SPACECRAFT

Lo SC è composto da PAYLOAD e da BUS



# ELECTRICAL POWER SYSTEM,



un sistema EPS si divide tipicamente in 3 livelli:

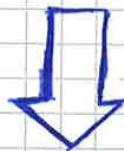
PRIMARY SYSTEM FUNCTIONS

genera e distribuisce ai main buses



SECONDARY SYSTEM FUNCTIONS

distribuisce ai main buses agli utenti finali e regola



SUPPORT SYSTEM FUNCTIONS

controllo termico  
interfacce di sistemi  
comandi

## EPS DESIGN PROCESS

- ① definire i REQUISITI da soddisfare;
- ② scegliere e dimensionare la FONTE DI ENERGIA;
- ③ scegliere e dimensionare l'IMMAGAZZINAMENTO di energia;
- ④ identificare REGOLAZIONE e CONTROLLO del sistema.

Le celle solari convertono l'energia solare in energia elettrica sfruttando l'effetto fotovoltaico

3 tipi di celle solari sono:

- CELLE A SILIZIO
- CELLE AL GALLIO-ARSENICO
- CELLA A FILM SOTTILE

### CONCENTRATORI SOLARI

sono dei concentratori riflettivi, tipo specchi, che concentrano la luce solare verso il pannello

sono utili oltre 1,5 AU (Astronomic Units 150 000 000 km)

### SISTEMI SOLARI DINAMICI

usano l'energia solare per riscaldare un fluido alla  $T$  operativa e sfruttando la sua espansione su una turbina, produrre corrente elettrica

### FONTE D'ENERGIA: CHIMICA,

- BATTERIE PRIMARIE
- BATTERIE SECONDARIE
- CELLE A COMBUSTIBILE
- CELLE A COMBUSTIBILE

rappresentano la fonte di energia elettrica primaria per missioni brevi

le batterie ricaricabili sono di solito ricaricate con pannelli solari

le celle a combustibile necessitano di combustibile ed ossidante.



# COMMUNICATION SYSTEM

## BANDA DI FREQUENZA

Radio      Microonde      Infrarosso      Visibile      U.V.      Raggi X      Raggi  $\gamma$

VHF      3-30 MHz

UHF      0,3-3 GHz

SHF      3-30 GHz

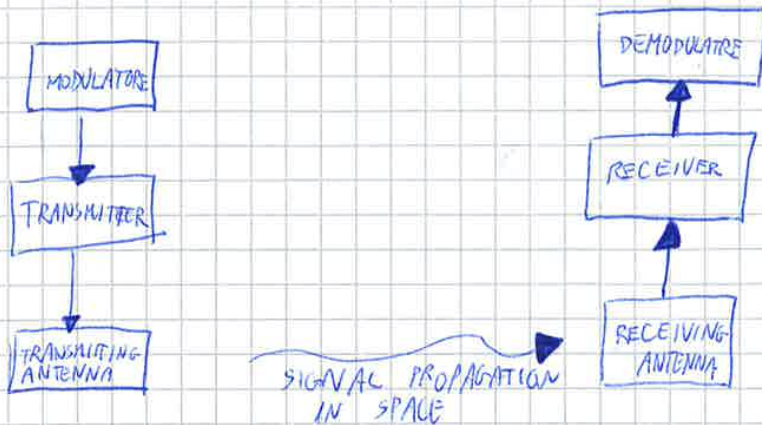
## ARCHITETTURE PRINCIPALI DEI SISTEMI DI COMUNICAZIONE

- ① Store & Forward
- ② Mobile
- ③ Geostationaria
- ④ Geostationaria con cross-link
- ⑤ Multiple satellites low altitude with crosslink

## FATTORI CHE INFLUISCONO SUI SISTEMI DI COMUNICAZIONE

- ① Orbita
- ② spettro delle frequenze
- ③ ritardo di propagazione
- ④ quantità di dati
- ⑤ tempo di vita / life time
- ⑥ accessibilità & scheduling
- ⑦ regolazione
- ⑧ threads

## RF COMMUNICATION SCHEME



**DOWNLINK** → comunicazioni dal satellite alla staz. di Terra

**UPLINK** → comunicazioni dalla staz. di Terra al satellite

**INTERLINK/CROSSLINK** → comunicazioni da satellite a satellite

### HIGH POWER AMPLIFIER

- **TWT** (Travelling Tube Amplifier)
- **SSA** (Solid State Amplifiers)

### ANTENNA

riceve e trasmette onde elettromagnetiche in AC e viceversa

#### • **GUADAGNO**

$$G = \frac{P_d}{P_r}$$

#### • **BEAM WIDTH**

lunghezza del segnale delimitato dalle parti dove l'ampiezza è decaduta di 3 dB dal valore di picco

Più piccolo è l'angolo del beamwidth, più alto è il guadagno dell'antenna

#### • **POLARIZZAZIONE**

orientamento del campo EM rispetto alla superficie terrestre



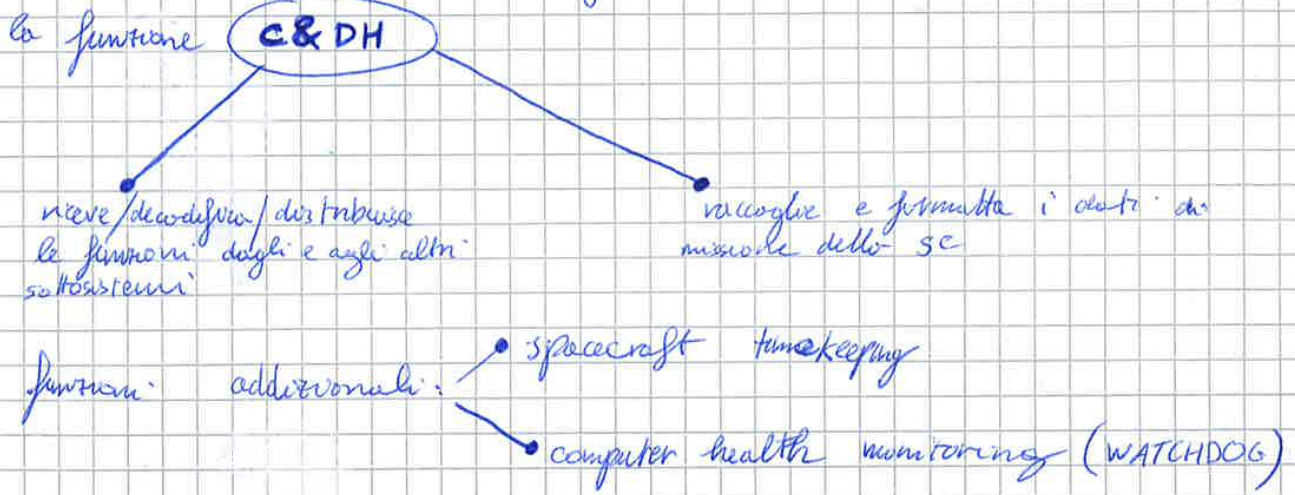


# ON-BOARD COMPUTER

## ALCUNE DEFINIZIONI

- Embedded Systems → processore di tipo built-in, che controlla tutto il sistema
- Real-time processing → processare l'informazione non appena è creata
- Operating System → gestisce le risorse del computer
- Kernel → software preinstallato nella ROM
- Application Software → software specifico di missione
- Protocol → convenzione o standard che controlla o disabilita le comunicazioni tra 2 terminali computer. Possono essere implementati come hardware o software e sono definiti tramite un contratto

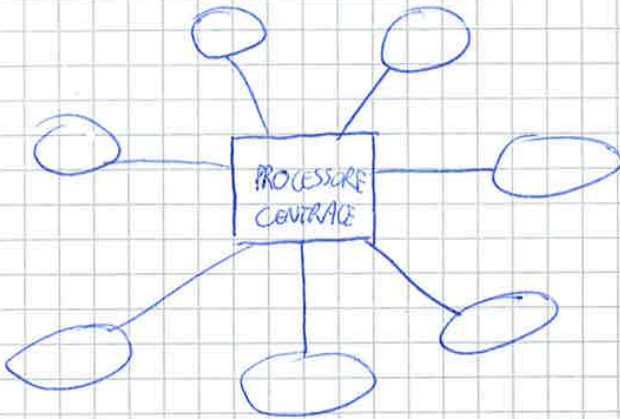
il OBC interagisce con tutti gli altri sistemi dello SC attraverso



dimensione del OBC a complessità dello SC

# ARCHITETTURA DELL'OBC

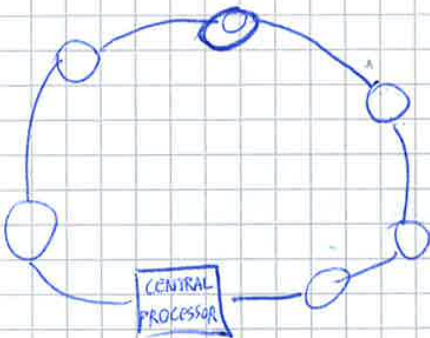
## • ARCHITETTURA CENTRALIZZATA



PRO

CONTRO

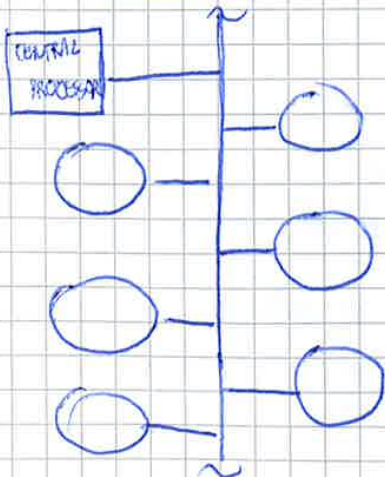
## • ARCHITETTURA AD ANELLO



PRO

CONTRO

## • BUS FEDERATED ARCHITECTURE





# THERMAL CONTROL & PROTECTION SYSTEM

TCS e TPS servono a mantenere lo SC nel range di temperatura in cui possono funzionare

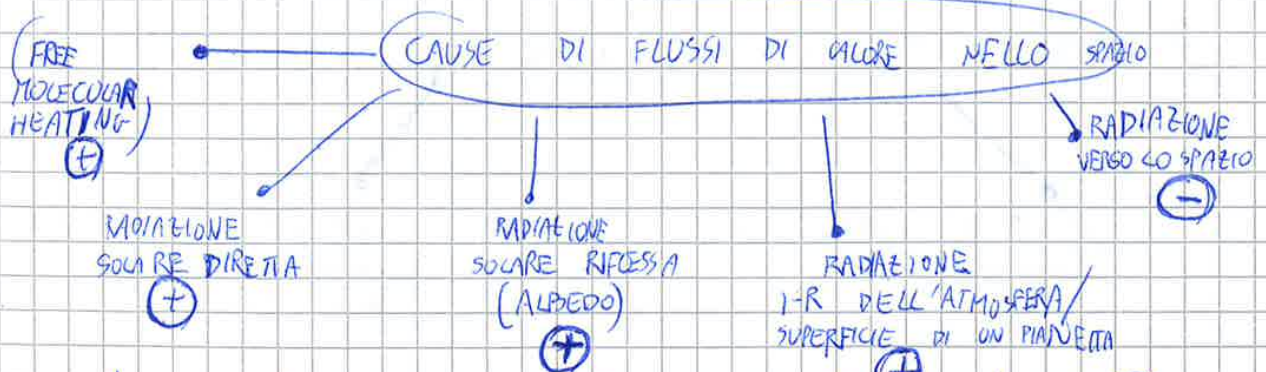
LIMITI OPERAZIONALI → i componenti possono lavorare

LIMITI SURVIVAL → i componenti sopravvivono



## AMBIENTE TERMICO DELLO SC

il TCS si occupa di mantenere lo SC entro i limiti operazionali quando questo è in orbita, invece durante le fasi di lancio e di test a Terra si tende a proteggere lo SC dall'ambiente esterno.



per ottenere equilibrio si devono bilanciare i flussi entranti (+) e quelli uscenti (-)

Le tecniche di controllo termico si dividono in

ACTIVE

- + precise
- affidabili

PASSIVE

- precise
- + affidabili

### DISPOSITIVI USATI:

- ISOLANTI
- FINITURE E RIVESTIMENTI
- RADIATORI
- FERITDIE
- HEAT PIPES
- SCAMBIATORI DI CALORE
- MATERIALI PHASE-CHANGE
- RISCALDATORI



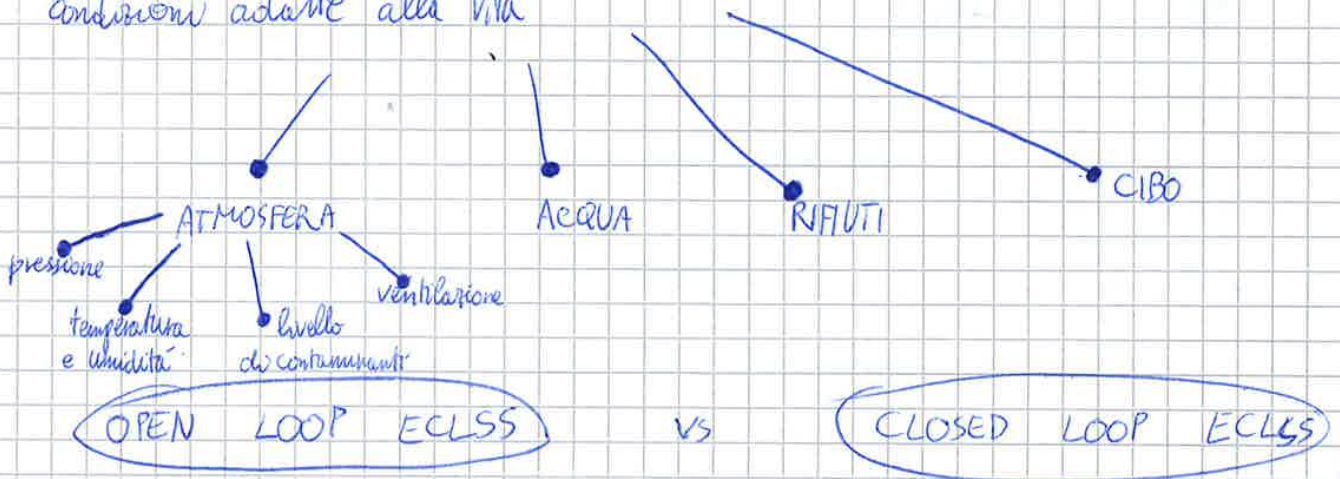
# ENVIRONMENTAL CONTROL & LIFE SUPPORT SYSTEM

ECLSS → serve a mantenere in vita l'equipaggio

solo per missioni MANNED (con persone a bordo)

è un sistema che svolge la delicata funzione dell'Environmental Control and Life Support → disciplina ingegneristica che deve rapportarsi con le funzioni chimiche, fisiche e biologiche per fornire al fante di vita umana e non condizioni ambientali adatte

a partire da un ambiente vuoto l'ECLSS deve fornire condizioni adatte alla vita



i rifiuti vengono immagazzinati e portati poi a Terra

i rifiuti vengono processati e riciclati  
**LIVELLO DI CHIUSURA** =  $\frac{\text{rifiuti riciclati}}{\text{rifiuti tot.}} \times 100$

## WATER MANAGEMENT

il WATER MANAGEMENT SYSTEM deve provvedere H<sub>2</sub>O alla crew per:



e deve processare e riciclare l'H<sub>2</sub>O già utilizzata

deve monitorare la qualità dell'H<sub>2</sub>O

servono 20 L di H<sub>2</sub>O per persona al giorno!

## WASTE MANAGEMENT (RIFIUTI)

diverse categorie di rifiuti, catalogate in base alla loro riciclabilità:

- missioni brevi: non richiedono riciclaggio
- missioni medie: richiedono principalmente riciclaggio di H<sub>2</sub>O
- missioni lunghe: devono per forza riciclare

## FOOD MANAGEMENT (CIBO)

OGGI

conciato sulla sc a Terra,  
e conservato fino all'  
utilizzo

NEL FUTURO

preparato e confezionato  
sulla sc

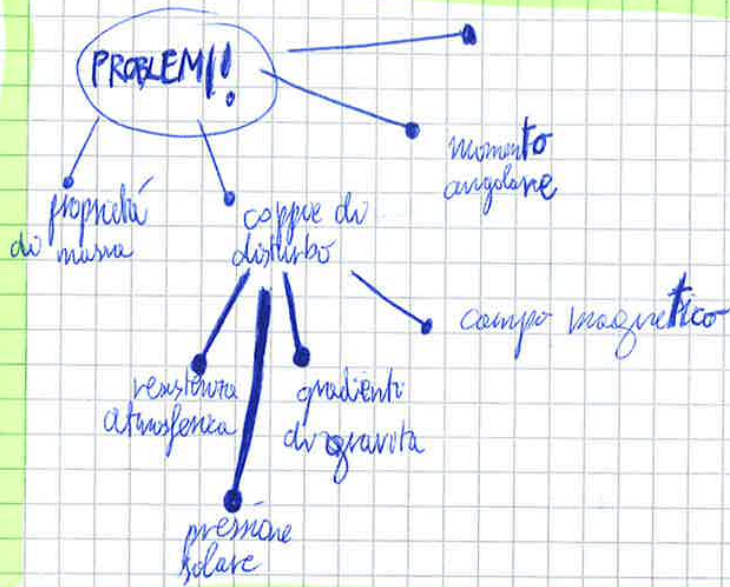


## ALLOGGI DELLA CREW (CREW ACCOMODATIONS)

- Cambusa / cucina
- guardasole
- letti
- armadi
- kit medica
- vestiti
- oggetti personali
- equipaggiamento fotografico
- igiene personale

## ATTITUDE DETERMINATION AND CONTROL SYSTEM

stabilizza lo sc e lo orienta nella giusta direzione



## IDEA!

sfruttiamo la CONSERVAZIONE DEL MOMENTO ANGOLARE e Km RIFERIMENTO ESTERNO per controllare lo sc!!

## COPPIE DI DISTURBO

- RESISTENZA ATMOSFERICA (AERODINAMICA)

$$\vec{T}_a = \vec{r}_{cp} \times \vec{F}_a$$

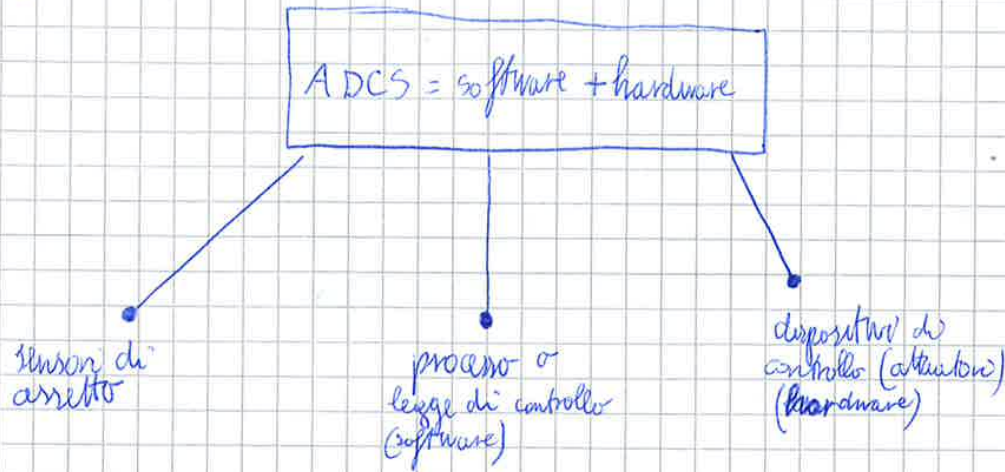
$$\vec{F}_a = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_D \frac{\vec{V}}{V}$$

è dovuta alla differenza posizione del centro di pressione e del centro di gravità



## ARCHITETTURA ADCS

l'ADCS (ADCS) deve generare delle coppie di controllo che contrastino le coppie di disturbo esterne



• i sistemi ADCS si dividono in

- ATTIVI (+ precisi, + complessi, + costosi, - durevoli)
- PASSIVI

(molto durevoli, ma poco precisi e dipendenti da fenomeni naturali)

## METODI PASSIVI

### • STABILIZZAZIONE PER SPIN

viene sfruttata la rigidità torsionale di un corpo rotante.

### • STABILIZZAZIONE PER GRADIENTE DI GRAVITÀ

serve per ottenere un orientamento allo zero

si ottiene mettendo una massa collegata allo sc ma posta un po' a distanza, così che lo sc si ponga con l'asse d'inerzia minimo sulla

coppie esterne

$$H_{tot} = H_{sc} + H_{RW} = cost$$

per compensare una coppia esterna la ruota può rallentare oppure girare nella direzione opposta

Le ruote "immagazzinano" momento, non lo eliminano, quindi è necessario periodicamente

### • RUOTA DI MOMENTO

è come una ruota di reazione che gira ad altissima velocità questa velocità è costante di poco (accelerando o rallentando) in risposta a coppie esterne.

le ruote di momento sono usate generalmente solo su satelliti che richiedono un'elevata accuratezza di puntamento

### • GYROSCOPI

è una ruota di momento posta su una sospensione cardanica

sono abbastanza pesanti ma hanno un'accuratezza 100 volte superiore a quella delle ruote di momento.

la ISS ha un sistema gyro.

### • S. MAGNETICA

è un metodo facile e poco costoso, e sfrutta una corrente elettrica fatta passare in un avvolgimento metallico.

sono precisi, in quanto sfruttano l'energia elettrica a bordo, però sono poco accurati ( $\pm 30^\circ$ ) e dipendono da campi magnetici



**HORIZON SENSORS** → sono sensori a infrarosso che rilevano il contrasto tra lo spazio freddo e il calore dell'atmosfera terrestre (corpo grigio)

**MAGNETOMETRI** → semplici, affidabili, leggeri  
rilevano direzione e intensità del campo magnetico esterno

**GPS** → leggeri, poco costosi e sono molto precisi  
utilizzati su  $\alpha$  che richiedono elevata precisione  
o come BACK-UP su dispositivi a bassa precisione

**GYROSCOPI** → sensori inerziali che misurano la velocità e l'angolo da un punto di riferimento iniziale

---

### DERIVATIVE CONTROL

misurare la velocità di variazione dell'assetto

### INTEGRAL CONTROL

misura solo la posizione, l'angolo di assetto

## SOLID PROPELLANT SYSTEMS,

usati per lo stage finale, per portare gli  $\alpha$  dalle orbite primarie all'orbita finale



E.G.: Hubble telescopio spaziale

$$d_L = 2,43 \text{ m}$$

$$\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$H = 370 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$R \approx H \text{ (nucleo)}$$

$$GSD = \Delta\theta \cdot h = 9,3 \text{ cm}$$

$$\Delta\theta \approx 1,22 \cdot \frac{\lambda}{d_L} =$$

PANCHROMATIC:

MULTISPECTRAL:

HYPERBPECTRAL:

ULTRASPECTRAL:

TECNICHE DI SCANNING

ALONG TRACK

vs

ACROSS TRACK

=

=

PUSH-BROOM

vs

WHISK-BROOM

IFOV = FOV

IFOV ≠ FOV

## ESERCIZIO: SATELLITE EAGLE

3 PAYLOADS OSSERVAZIONALI, 2 dei quali sono fotocamere

$$f_1 = 5 \text{ cm}$$

$$D_{i1} = 34 \text{ mm}$$

$$\text{NIR} \quad \lambda_1 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$f_1 = 50 \text{ Hz}$$

$$H = 800 \text{ km}$$

$$f_2 = 50 \text{ cm}$$

$$D_{i2} = 34 \text{ mm}$$

$$\text{VISIBLE} \quad \lambda_2 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$f_2 = 500 \text{ Hz}$$

$$\text{FOV}_1 = 2 \cdot \arctg\left(\frac{D_{i1}}{2f_1}\right) = 37,5^\circ$$

$$\text{FOV}_2 = 2 \cdot \arctg\left(\frac{D_{i2}}{2f_2}\right) = 4^\circ$$

$$\text{GSD}_1 = \Delta\theta \cdot h =$$

$$= 122 \cdot \frac{2}{d_i} \cdot h = 9,76 \text{ m}$$

$$\text{GSD}_2 = 4,9 \text{ m}$$

$$L_1 = 2 \cdot H \cdot \text{tg}\left(\frac{\text{FOV}_1}{2}\right) = 544 \text{ km}$$

$$L_2 = 2 \cdot H \cdot \text{tg}\left(\frac{\text{FOV}_2}{2}\right) = 55,3 \text{ km}$$

$$A_1 = L_1^2 = 296.900 \text{ km}^2$$

$$A_2 = L_2^2 = 3105 \text{ km}^2$$

$$A_{p1} = \frac{A_1}{\# \text{pixel}} = \frac{A_1}{q \cdot p} = 155.000 \text{ m}^2$$

$$A_{p2} = \frac{A_2}{\# \text{pixel}} = 1630 \text{ m}^2$$

$$L_{p1} = \sqrt{A_{p1}} = 394 \text{ m}$$

$$L_{p2} = \sqrt{A_{p2}} = 40,3 \text{ m}$$

$$V_1 = q \cdot p \cdot N_{\text{bit}} \cdot N_{\text{bands}} = 15,36 \text{ Mbits}$$

$$V_2 = 92,16 \text{ Mbits}$$

La 3° è una CAMERA IPERSPETTRALE che usa la tecnica WHISKYROOM

$$\text{FOV}_3 = 30^\circ$$

$$\text{IFOV}_{\text{angular}} = 0,5^\circ$$



$$D_s = 204,8 \text{ km} \cdot \sqrt{2} = 290 \text{ km}$$

$$f = \frac{R_{\text{det}} \cdot H}{D_s/2} = 0,034 \text{ m}$$

$$\text{FOV} = 2 \arctan \left( \frac{R_{\text{det}}}{f} \right) = 32,98^\circ$$

$$P_{EOL} = P_{BOL} \cdot L_d$$

SOLAR ARRAYS SIZING

$$A_{SA} = \frac{P_{SA}}{P_{EOL}}$$

area dei pannelli

$$M_{SA} = \frac{P_{SA} \text{ [Watt]}}{\text{specific performance [W/kg]}}$$

massa dei pannelli

BATTERY SIZING

$$C_r = \frac{P_e \cdot T_e \cdot \eta}{DOD \cdot N \cdot \eta}$$

capacità delle batterie

Depth of Discharge [%]

[%]

n° batterie

efficienza di trasmissione batterie/cavo



## LINK BUDGET CALCULATION

e.g.:

orbita SSO (ellio sincrona)

ANTENNA "HORN"

$$H = 796 \text{ km}$$

$$f = 8 \text{ GHz}$$

$$R = 520 \text{ Mbit/s}$$

$$P = 12 \text{ W}$$

PERDITE DI POTENZA

$$P_t = 10 \cdot \log 12 = 10,8 \text{ dB}$$

$$L_{\text{cable}} = 0,16 \cdot 2 = 0,32 \text{ dB}$$

$$L_{T_x} = 0,15 \text{ dB}$$

$$L_{T_{\text{other}}} = 0,15 \text{ dB}$$

$$L_{\text{tot}} = L_{\text{cables}} + L_{T_x} + L_{T_{\text{other}}} = 0,62 \text{ dB}$$

CARATTERISTICHE DELL'ANTENNA TRASMETTENTE

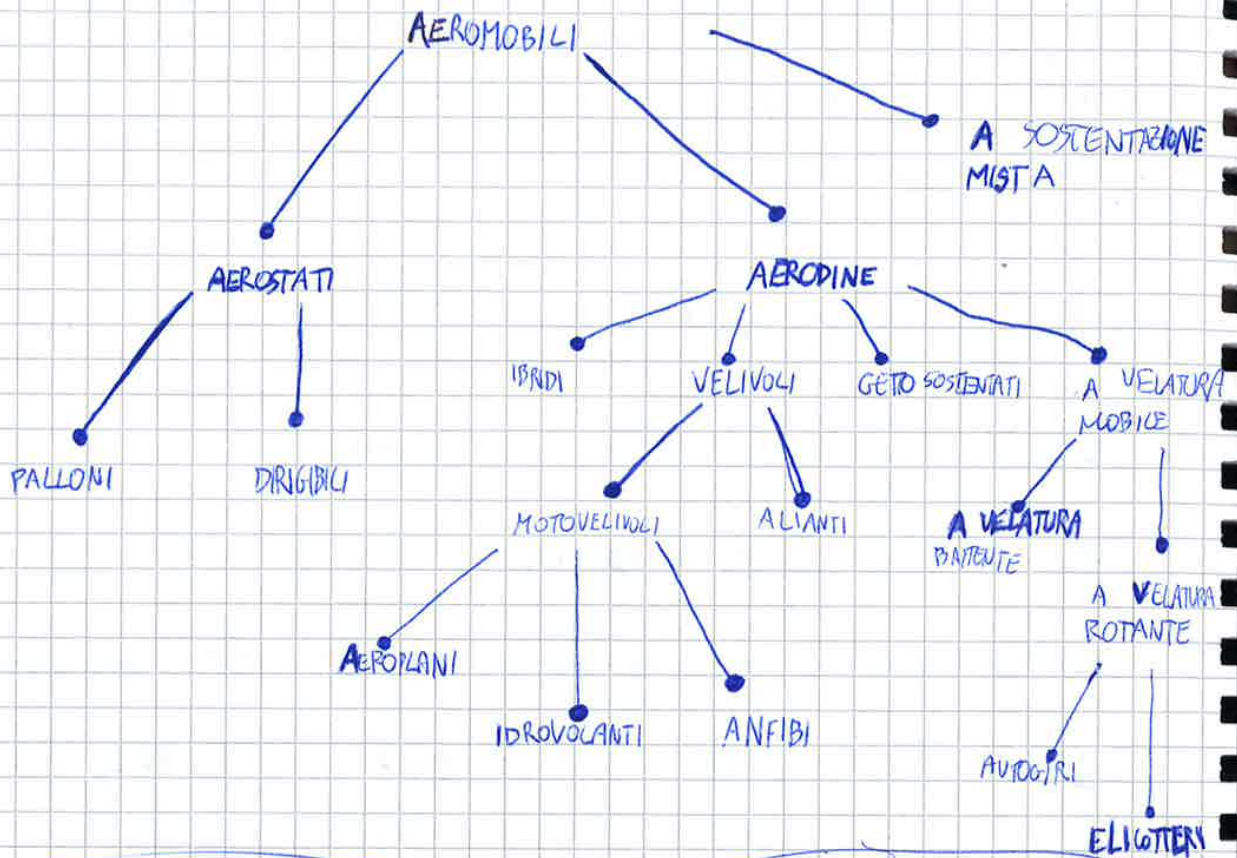
$$G_t = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{C}{\lambda} \right) - 3 = 23,42 \text{ dB}$$

$$\theta_t = 225 \frac{\lambda}{C} = 10,75^\circ$$

CALCOLO DELL'EIRP

$$EIRP = 10,74 - 0,62 + 23,42 = P_t - L_t + G_t = 33,54 \text{ dB}$$

# CLASSIFICAZIONE AEROMOBILI



SISTEMI DI TRASPORTO AEREO

SISTEMI D'ARMA AERONAUTICI

- SPORT-TURISMO
- UTILITY
- EXECUTIVES
- MILITARE LEGGERO
- REGIONAL SETS
- COMMUTERS
- PASSEGGERI (COMMERCIALI)
- MILITARE PESANTE

- INTERCETTORE
- SUPERIORITA' AEREA
- "COVER"
- SCORTA
- "STAKE"
- APPoggio TATTICO
- RICOGNIZIONE
- "RADAR SUPPRESSION"



## CIVILI

SPORT/TURISMO → ECONOMICITÀ

UTILITY → ROBUSTEZZA

COMMUTER → ECONOMICITÀ OPERAZIONALE

MILITARI LEGGERI → CAP. DI CAMPO

EXECUTIVE → AUTONOMIA

REGIONAL → PRESTAZIONI/ECONOMICITÀ

COMMERCIALI → AUTONOMIA/COMFORT

MILITARI PESANTI → CAP. DI CARICO

## MILITARI

INTERCETTORI → VELOCITÀ

SUP. AEREA → MANOVREABILITÀ

STRIKE → CAPACITÀ DI TRASPORTO ARMI

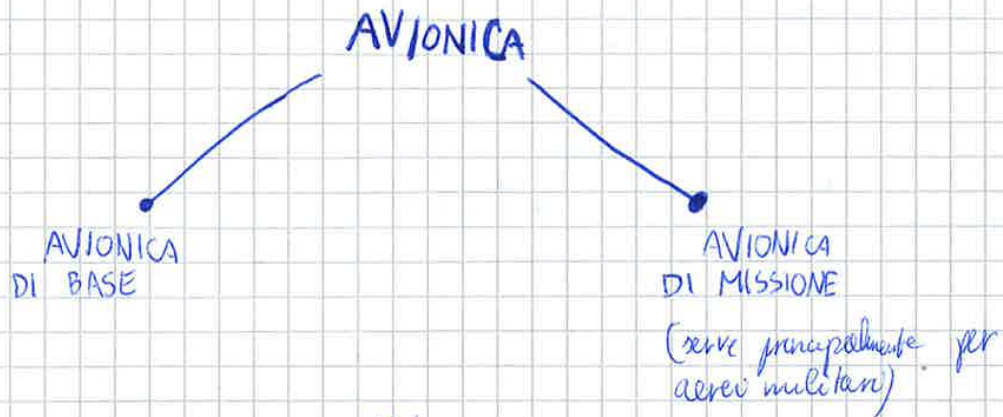
SCORTA → AUTONOMIA

APP. TATTICO → (IN)VULNERABILITÀ

RICOGNIZIONE → STEALTH

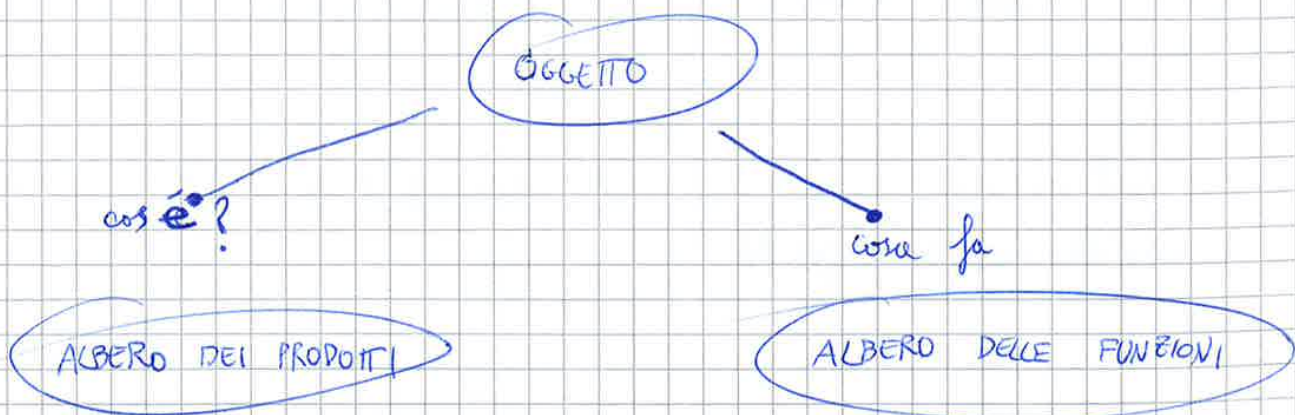
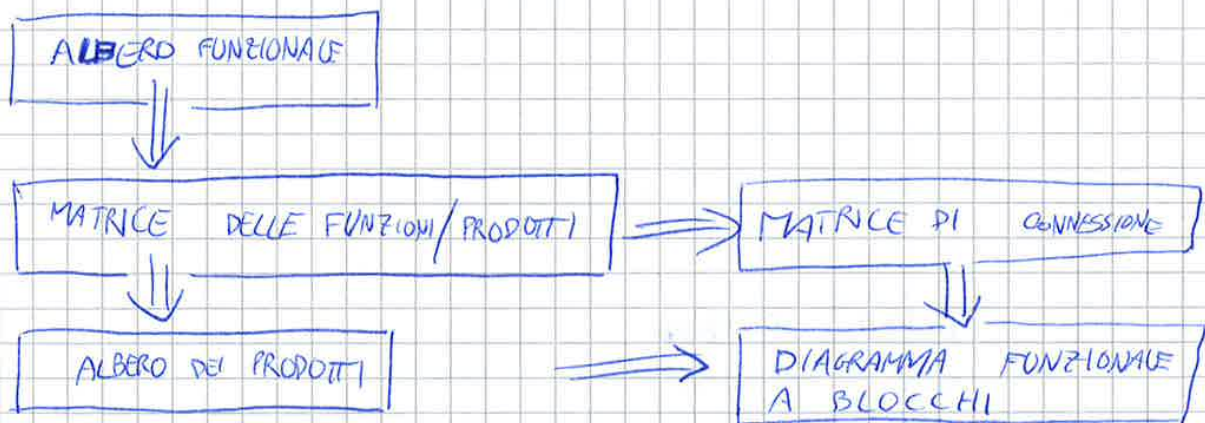
COVER → DURATA

RADAR SUPPRESSION → AVIONICA



per definire i requisiti dell'AVIONICA e' necessario definire la missione, e più è utile usare un FLOW CHART

PROCEDIMENTO LOGICO PER DEFINIRE L'AVIONICA,





# ARCHITETTURA DEI SISTEMI AVIONICI

## RUOLI MILITARI

negli aerei militari l'avionica di missione è fortemente influenzata dal tipo di missione che svolgerà l'AM.

ci sono anche AM militari MULTIRUOLO!

sta avendo sempre più peso l'avionica nei ruoli odierni.

### • SUPERIORITÀ AEREA

quadruplare dominio sullo spazio aereo del nemico

- è richiesta grande MANOVRAIBILITÀ e resistenza a fattori di carico elevati (+9, -3)

- velocità  $M=2$

- andare oltre 60 000 ft

- può decollare da portaerei

- rapporto ~~potenza/peso~~ potenza/peso  $> 1$

- carefree handling

- di solito monopilota ma capita che sia

### • GROUND ATTACK

assiste le truppe amiche in un attacco a terra.

deve poter individuare ed ingaggiare bersagli a terra



## BATTLEFIELD SURVEILLANCE

gli aerei sono equipaggiati con radar che scandagliano il terreno

- elevata altitudine di volo
- lungo raggio
- piattaforma stabile (basata su aerei "commerciali")
- 2 piloti che si alternano e un secondo ufficiale

## AIRBORNE EARLY WARNING

sentinella contro attacchi aerei

si vola in circolo sopra la zona da sorvegliare osservando l'orizzonte per vedere se arrivano aerei nemici

- elevata autonomia
- lungo raggio
- radar a 360° + interrogatore per distinguere amici/nemici
- posto di comando aerotrasportato
- 2 piloti che si alternano

## ELECTRONIC WARFARE

COUNTERMEASURES ELETTRONICHE: confondere i radar nemici ed interrompere le comunicazioni nemiche (jamming)

MISURE ELETTRONICHE DI SUPPORTO: intercettare comunicazioni nemiche per fornire supporto alle proprie truppe

SIGNALS INTELLIGENCE: communications intelligence & electronic intelligence

ELECTRONIC COUNTER-COUNTER MEASURES:



può essere sbarcato (atterrando) oppure paracadutato  
(in volo)

- ~~largo~~ volume di carico
- rampa di carico
- capacità di portare carichi pesanti
- lungo raggio
- buona navigazione accurata
- abilità di operare in cattive condiz. climatiche e di atterrare su terreni impervi
- personale di comando e ingegnere di volo

#### • UNMANNED AIR VEHICLES

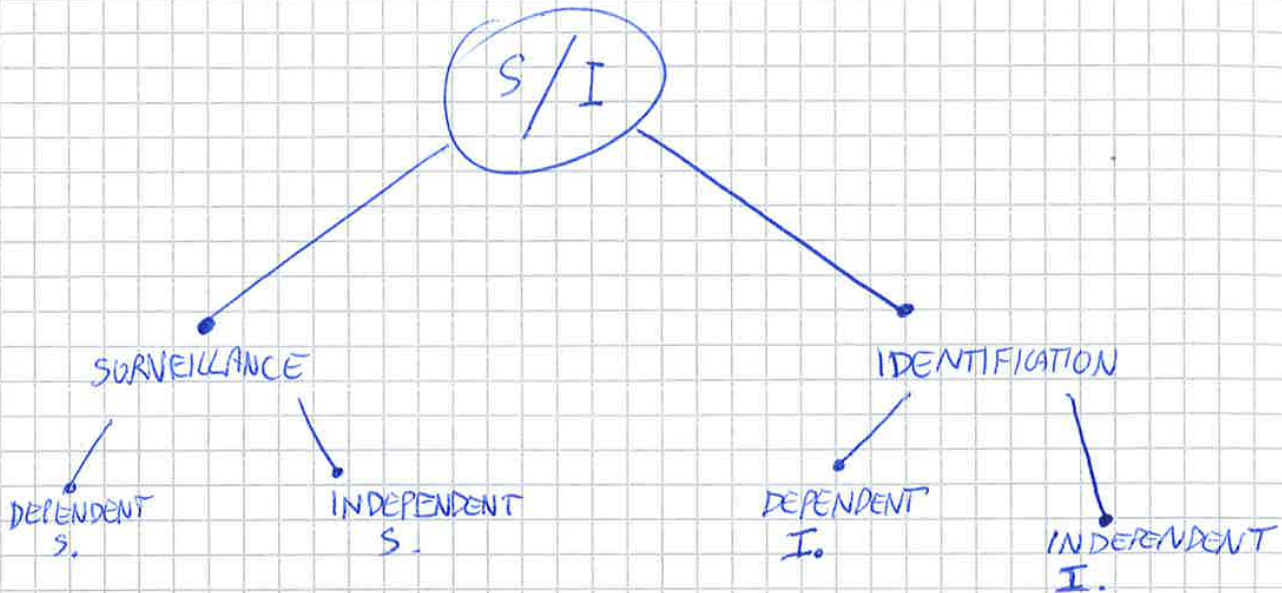
non serve l'equipaggio, non lo si paga, non lo si deve addestrare  
non si rischia la vita umana

possono assolvere a diversi ruoli, possono operare ad elevate quote e per lungo tempo

richiedono però una stazione di terra per gli operatori che li comandano e per trasmettere i dati

attualmente sono usati solo per sorveglianza, fotografie, ...  
però possono anche condurre attacchi con queste

# SURVEILLANCE AND IDENTIFICATION SYSTEM



la S/I si può dividere in DIPENDENTE e INDIPENDENTE

DIPENDENTE → dipende dall'intervento del pilota e dei controllori di terra, mediante comunicazioni a voce

INDIPENDENTE → la posizione è calcolata automaticamente dagli apparati di bordo, grazie al PRIMARY SURVEILLANCE RADAR e al SECONDARY SURVEILLANCE RADAR che comunicano con l'ATC

## PSR e SSR a terra

Le 2 antenne restano sullo stesso apparecchio, quando funzionano contemporaneamente

PSR → distanza e angolo  
emette energia e trasmette l'energia di ritorno, individua un aereo o un oggetto

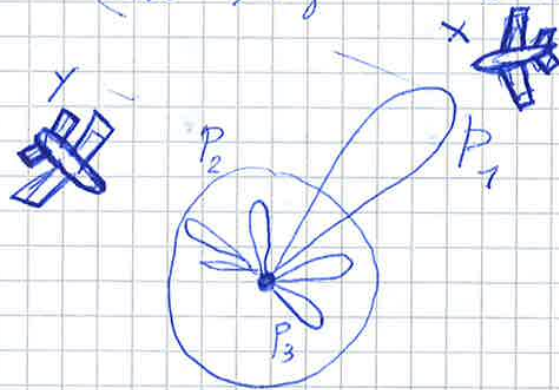


Il transponder MODE S getta le basi per il funzionamento del TCAS

Sia INTERROGAZIONE che RISPOSTA sono opportunamente codificate

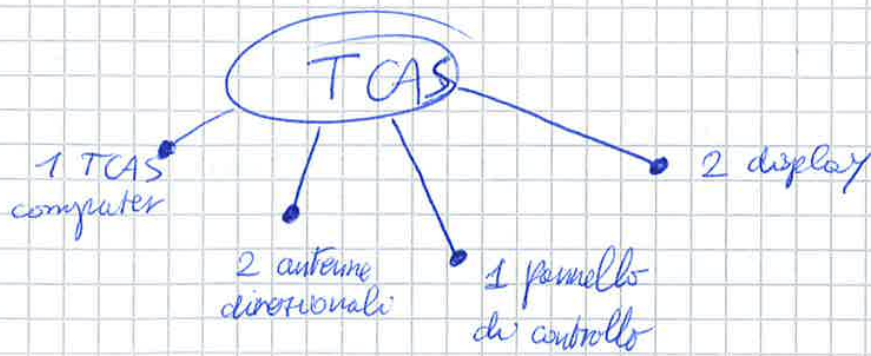
nei modi A e C vengono trasmessi 3 segnali del SSR  $P_1, P_2$  e  $P_3$ .

$P_1, P_3$  → DIREZIONALI  
 $P_2$  → OMNIDIREZIONALE



L'aereo X capisce di essere interrogato perché riceve il segnale  $P_1$  e  $P_3$  con potenza maggiore rispetto al segnale  $P_2$ .  
Viceversa l'aereo Y capisce di non essere interrogato perché riceve il segnale  $P_1$  e  $P_3$  con potenza minore rispetto al segnale  $P_2$ .

il modo è definito dagli <sup>istanti</sup> ~~...~~ da tempo tra i vari impulsi  $P_1$  e  $P_3$ .  $P_2$  segue  $P_1$  con intervallo fisso.



il TCAS può essere usato solo da e su velivoli con trasponder di tipo S.

## ADS-B

"Automatic Dependent Surveillance Broadcast"

emergente tecnica di controllo aereo, che sostituisce l'ATC a breve

+ preciso e con un raggio + ampio

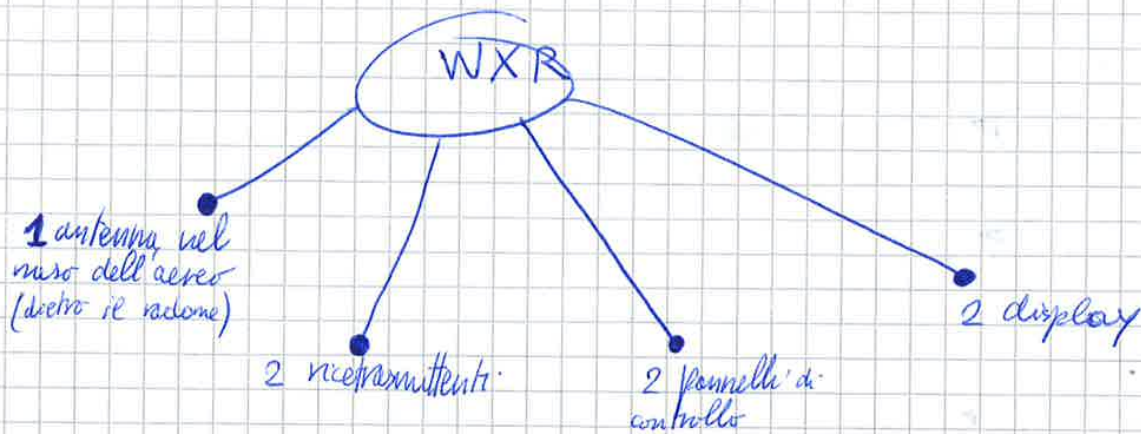
usa una costellazione di satelliti e trasmettitori e ricevitori a terra

un aereo trasmette un ADS-B out agli aerei vicini e alla ricevente di terra in linea di vista. Questo trasmette (ADS-B<sub>in</sub>) dato come: latitudine + longitudine, quota, velocità e codice identificativo

Il range del ADS-B è > 100 nm (> 160 km)

L'aereo riceve la propria posizione grazie alle informazioni ricevute da un satellite del GNSS o dal GPS





il WXR è un disco girante dietro al radome che si muove continuamente da sx a dx per scansionare tutto il panorama

l'antenna irradia un'energia pari a 5-10 kW

la ricevatrice (TRANSCIVER) è un apparecchio allo stato solido (SSD)

il display radar ha come "sfondo" la mappa del terreno sottostante, così il pilota può vedere dove l'aereo sta andando in relazione al meteo

un uso secondario del WXR è la mappatura del terreno, ad esempio per identificare fiumi o montagne

- Un impianto di comunicazione radio solitamente è composto da:
  - antenna
  - transmitter + receiver = transceiver
  - control unit
  - audio system

VHF

(30 - 300 MHz)

118 MHz ÷ 137 MHz → per le comunicazioni

inizialmente i canali erano spazati di 200 kHz, ora di meno per aumentare il n° dei canali

si arriva a 25 kHz o addirittura 8,33 kHz in Europa

i transceiver devono però avere un'ottima RECEIVER SELECTIVITY

usato per:

- ATIS
- approach and departure info
- transmission of meteor info
- ground handling of aircraft
- company communications
- Aircraft Comm. and Reporting System (ACARS)

Le onde si propagano in linea di vista, quindi si fa un range di lavoro limitato che dipende dalla quota di volo dell'aereo, oltre che dalla potenza del transceiver, dalla altezza del ground control,...



HF

(3 ÷ 30 MHz)

1 kHz di channel spacing

le comunicazioni HF vengono riflesse dall'atmosfera, quindi non è obbligatoria la linea di vista, però serve una potenza 5 volte maggiore rispetto alle VHF.

siccome gli strati ionizzati su cui rimbalzano le onde HF cambiano quota durante il giorno e durante le stagioni, si devono usare differenti frequenze in differenti fasi del giorno

$$LUF < HF_{usata} < MUF$$

la LUF sale durante il giorno e scende durante la notte

la MUF invece dipende molto dall'attività solare e dall'altitudine dell'

F-LAYER

$$f_{crit} = 9 \cdot 10^{-3} \sqrt{N}$$

densità di elettroni

$$f_{MUF} = \frac{f_{crit}}{\sin \alpha}$$

il vantaggio delle HF è che si ha un lunghissimo range (500 ÷ 2500 km) e può essere sfruttato anche nelle zone ad altissima o bassissima latitudine, dove le SATCOM non arrivano.



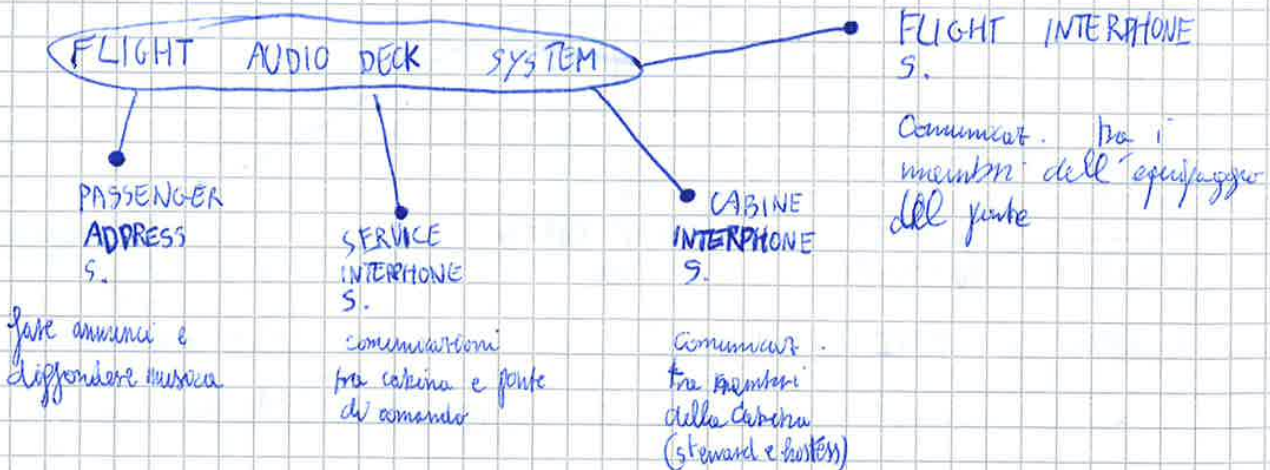
## COMMUNICATION CONTROL SYSTEM

è un'impresa sempre più complessa che sta venendo sempre più assistita dal FMS, che ora può automaticamente selezionare il tipo di comunicazione per una data fase del volo

come regola generale vale:

- ZONE DISABITATE (OCEANI) → SATCOM + HF
- ZONE CONTINENTALI → SATCOM + VHF
- ZONE TERMINALI TRAFFICATE → VHF

## COMUNICAZIONI INTERNE (FLIGHT DECK)



molte grandi aerei commerciali hanno il CVR (Cockpit Voice Recorder) che registra l'audio del Comandante, del I Ufficiale e ha anche un microfono in cabina

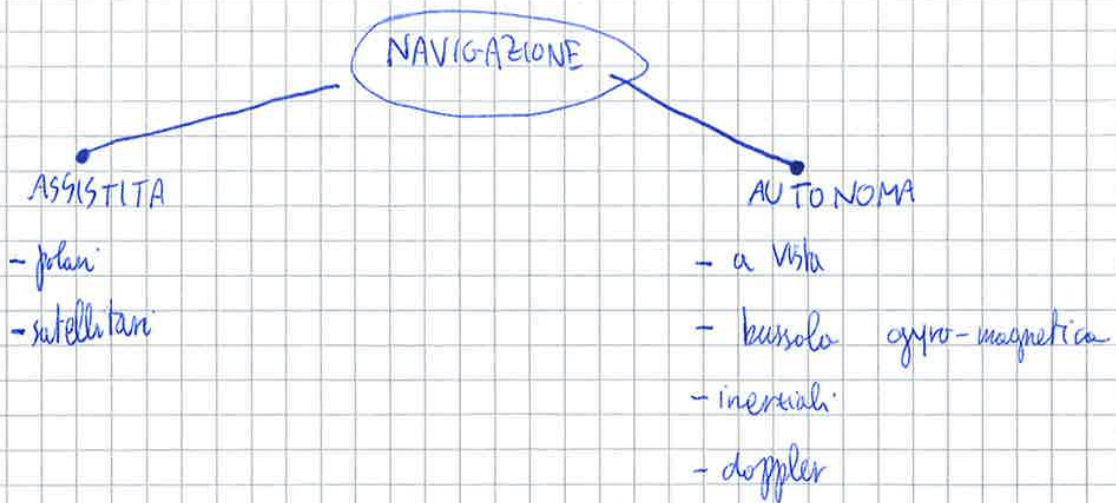
è appunto d'arancione per essere più visibile, così come la scabbia nera



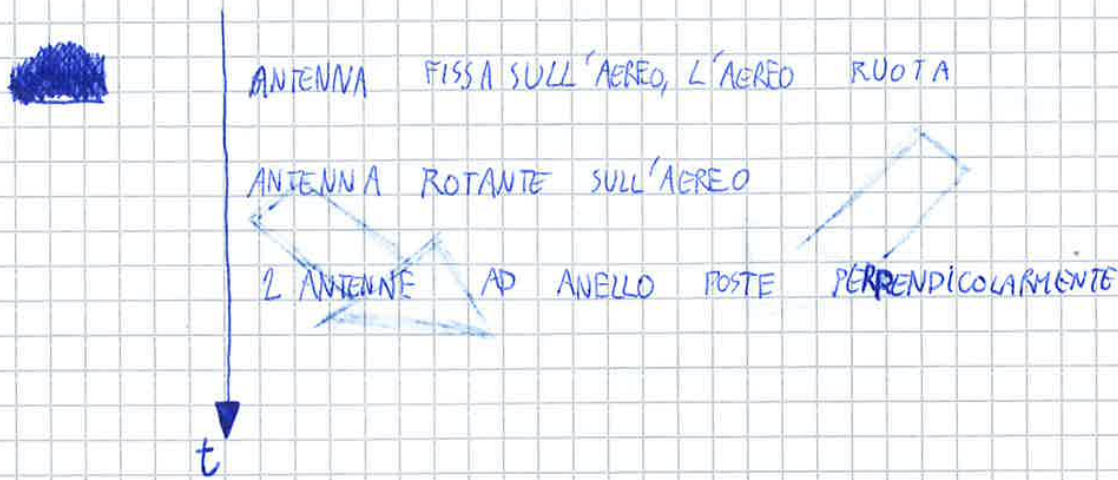
# NAVIGAZIONE SYSTEM

NAVIGAZIONE → "capacità di muoversi in un determinato ambiente conoscendo in ogni istante la propria posizione rispetto al punto di partenza e al punto d'arrivo"

VELIVOLO assimilato ad un punto su un piano 2D.



Il NULL READING è più facile da individuare rispetto al punto di massima potenza



le radio commerciali usate hanno  $f = 540 \div 1620$  kHz

### NDB

"Non-Directional Beacon"

sono radio trasmettenti omnidirezionali, usate negli ultimi anni

usano  $f = 190 \div 415$  kHz (LF) ed  $f = 510 \div 535$  kHz (MF)

gli aerei moderni hanno ~~2~~ antenne ADF, una a dx e una a sx, entrambe poste sulla parte superiore della fusoliera

l'accuratezza dell'ADF è  $\pm 5^\circ$ , quindi è poco preciso



le AIRWAY si intercettano, nella navigazione RNAV, volando verso una certa RADIAL con un certo HEADING.

l'accuratezza del sistema è tipicamente 1°.

La navigazione per area RNAV si fa risolvendo equazioni geometriche nelle variabili  $\rho$  (distanza) e  $\theta$  (angolo), andando verso un WAYPOINT e appoggiandosi ad un VOR.

gli aerei moderni hanno 2 apparati VOR, sinistro e destro, che sono accoppiati e posizionati sulla deriva di coda.

l'antenna VOR a bordo è un dipolo omnidirezionale mentre il ricevitore è spesso accoppiato ad altri apparati tipo l'ILS.

## DME

"Distance Measuring Equipment"

è un apparato di navigazione a corto-medio raggio, che utilizza il SSR, che manda un segnale alla stazione DME di terra e misura il tempo che questa impiega a restituirlo.

è un sistema LOS.

il segnale DME trasmesso dall'interrogatore ha  $f = 1025 \div 1150$  MHz  
DOWNLINK

mentre la risposta (UPLINK) ha  $f = 962 \div 1215$  MHz

su un aereo moderno ci sono 2 apparati DME, con 2 apparati ricevitore-trasmittitore indipendenti tra di loro.

prima si "prende" il LOC e poi il GS

## MLS

### "Microwave Landing System"

opera in concomitanza con un P-DME

opera su 200 canali tra 5031 e 5091 MHz, spaziate di 300 kHz

si articola in 3 sottosistemi:

- AZIMUTH (AZ)  $\approx$  LOC ( $\pm 40/60^\circ$ )
- ELEVATION (EL)  $\approx$  GS ( $0 \pm 15/20^\circ$ )
- ~~DME~~ DME fornisce distanza

in futuro si userà la RNAV in concomitanza con il GNSS

Area Navigation

Global Satellite Navigation System



SEGMENTO SPAZIALE → consta di 31 satelliti

$$h = 20\,000\text{ km}$$

$$T = 12\text{ h}$$

6 piani orbitali ( $55^\circ$  dall'Equatore)

almeno 4 satelliti sono sempre visibili.

trasmettono su 2 frequenze:  $L_1$  (1575,42 MHz)  
 $L_2$  (1227,6 MHz)

SEGMENTO DI TERRA → 5 stazioni sparse sul globo + 1 Master Station negli Stati Uniti

SEGMENTO D'IMPIEGO → costituito da chi lo utilizza

servono 4 satelliti per trovare la posizione (3 per le distanze geometriche e 1 per il tempo)

i GNSS (GPS e Galileo) richiedono vari gradi di AUGMENTATION per soddisfare i requisiti in tutte le fasi del volo.

- ABAS
- GBAS
- SBAS

# RAMS

Reliability



Affidabilità

Availability



Disponibilità

Maintainability



Manutenibilità

Safety



Sicurezza

RELIABILITY → la capacità di un componente di compiere determinate funzioni in determinate condizioni in un dato periodo di tempo

AVAILABILITY → capacità di un componente di essere operativo in determinate condizioni e in un dato istante in un dato periodo di tempo

MAINTAINABILITY → facilità di mantenere un componente

SAFETY → stato in cui un livello accettabile di rischio non è superato



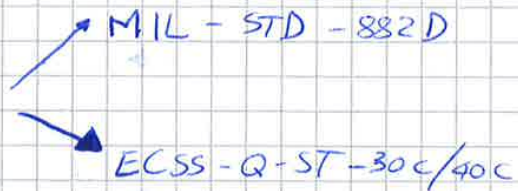
RISK → situazione indesiderata che ha una potenziale azione negativa su un progetto

SEVERITÀ → classificazione di una failure in base alla negatività delle sue conseguenze

### DEFINIZIONI DI RELIABILITY

probabilità →  $0 \leq R \leq 1$

due metodi di classificazione della severità delle failure



ECSS

- 1 CATASTROFICA
- 2 CRITICA
- 3 MAGGIORE
- 4 NEGLIGIBILE

MIL

- I** CATASTROPHIC
- II** CRITICAL
- III** MARGINAL
- IV** NEGLIGIBLE

## CRITICITÀ

è data dal prodotto di probabilità per severità

$$CN = PN \cdot SN$$

SEVERITY	OCCURRENCE				
	5	4	3	2	1
4	20	16	12	8	4
3	15	12	9	6	3
2	10	8	6	4	2
1	5	4	3	2	1

## STIMA DELLA RELIABILITY

si testano componenti singoli anziché il sistema (perché è meno costoso) e poi mettono insieme con calcoli (probabilità e statistica)

più la base del campione è larga, più il valore ottenuto è affidabile e considera col valore effettivo!

MODA → valore più frequente

MEDIA → media aritmetica

MEDIANA → valore intermedio tra i 2 estremi

più il campione è piccolo, più la devianza di ogni prova aumenterà.