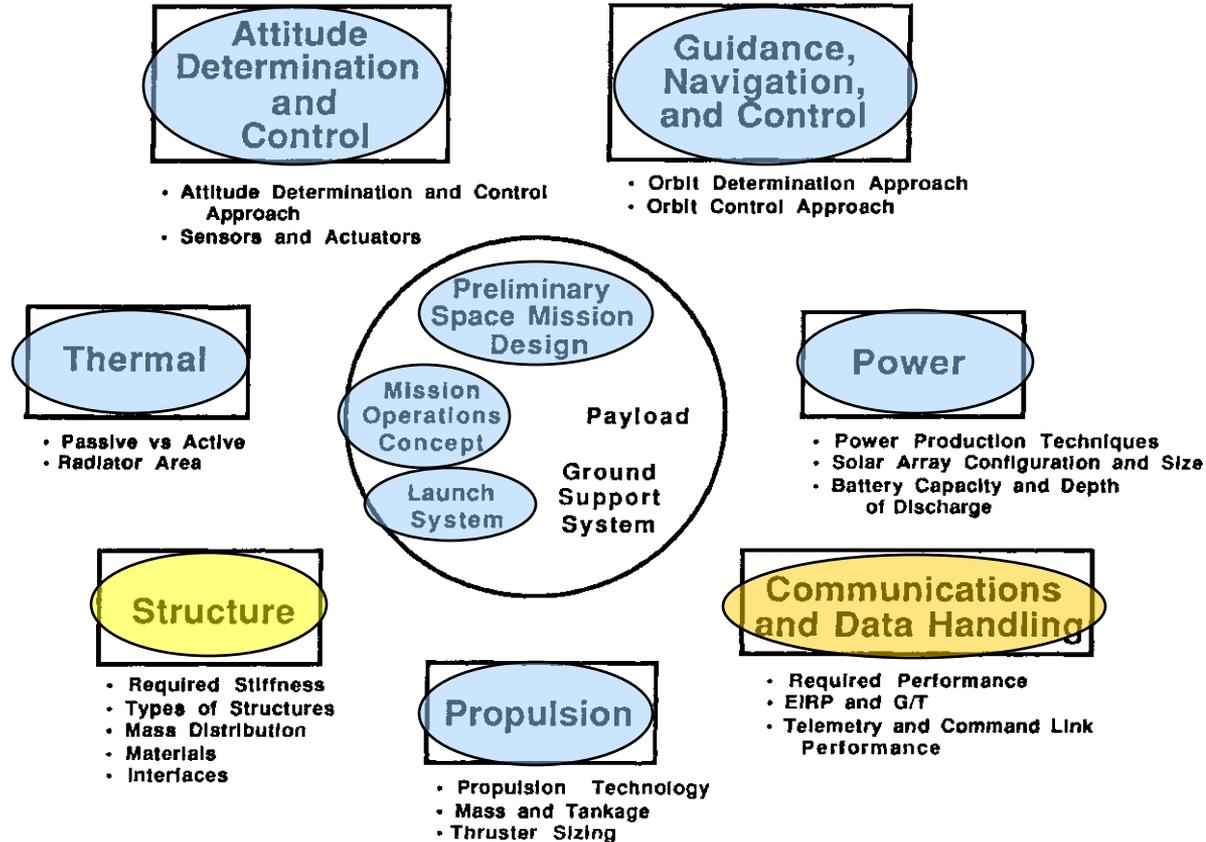


---

# La struttura di un satellite

# SOTTO-SISTEMI



# Utilizzo della Struttura

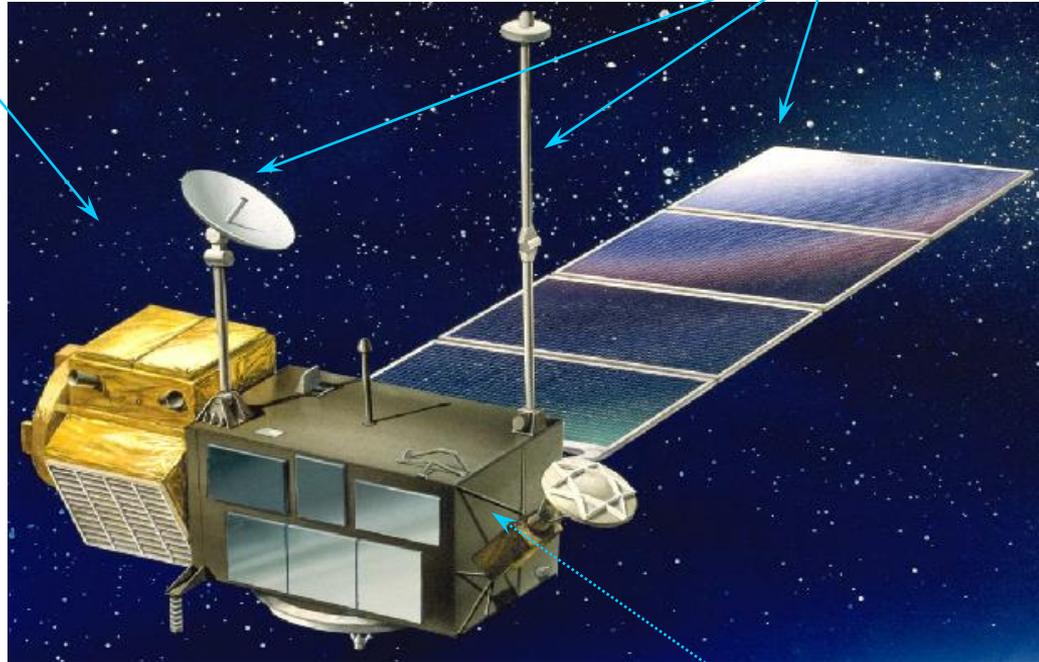
---

- Sostegno alle diverse parti del satellite
- Protezione dall'ambiente esterno
- Dispiega l'antenna o gli eventuali meccanismi di movimento
- Controlla ed assorbe le vibrazioni dannose per lo strumento

# Categorie

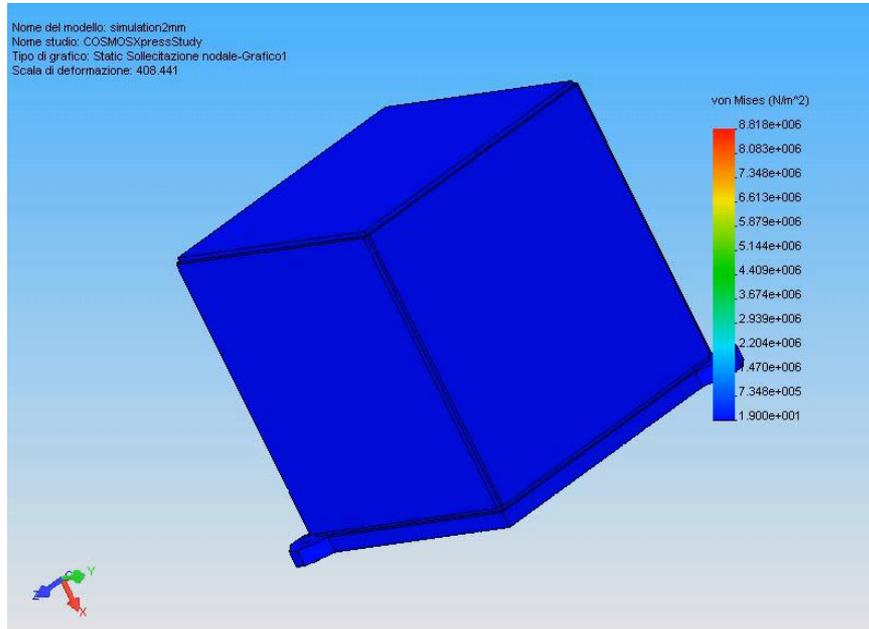
Strutture Primarie

Strutture Secondarie



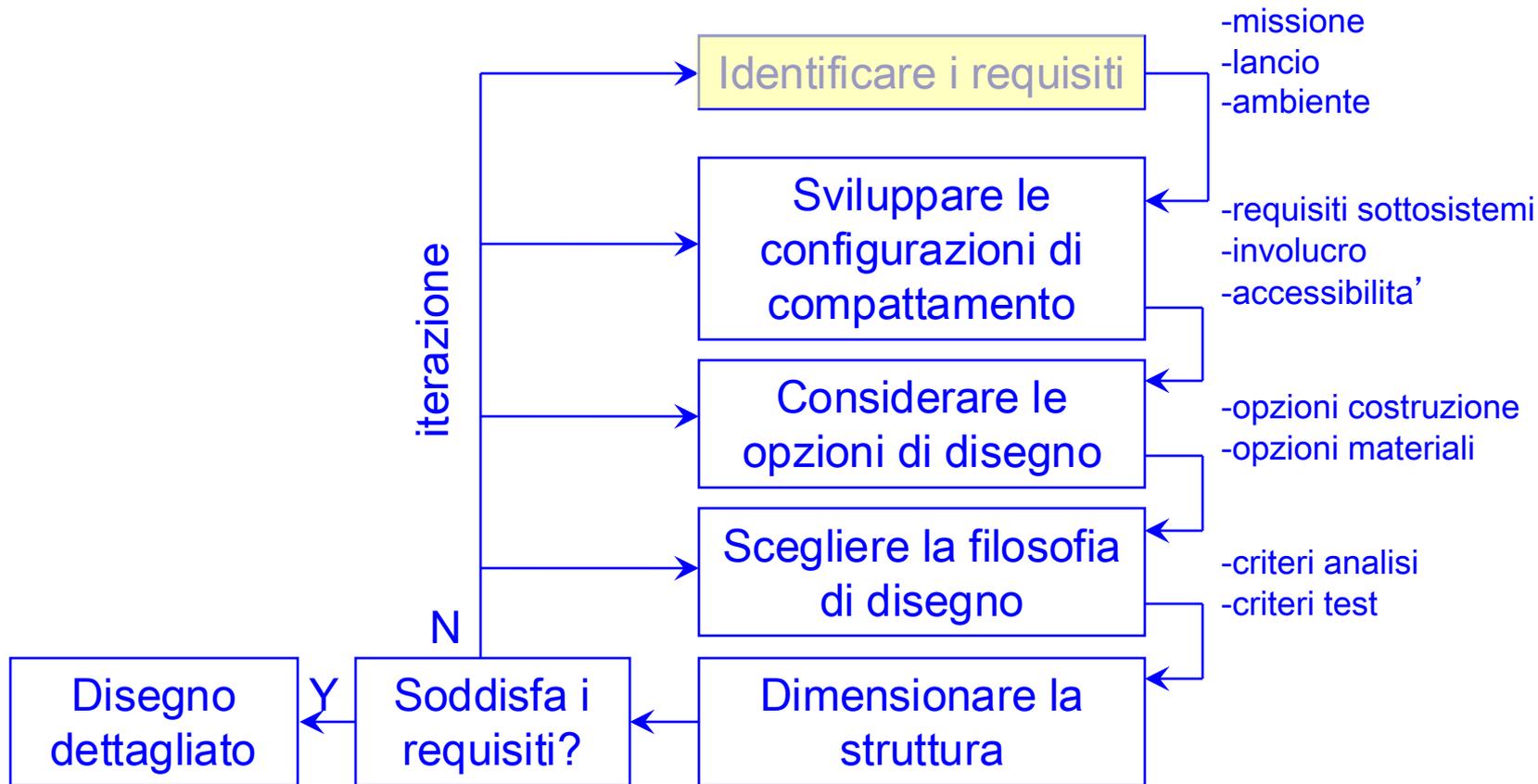
Strutture Terziarie

# Esempio: carico per pressione atmosferica



$$T = 5.144 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

# Processi del disegno meccanico – 1

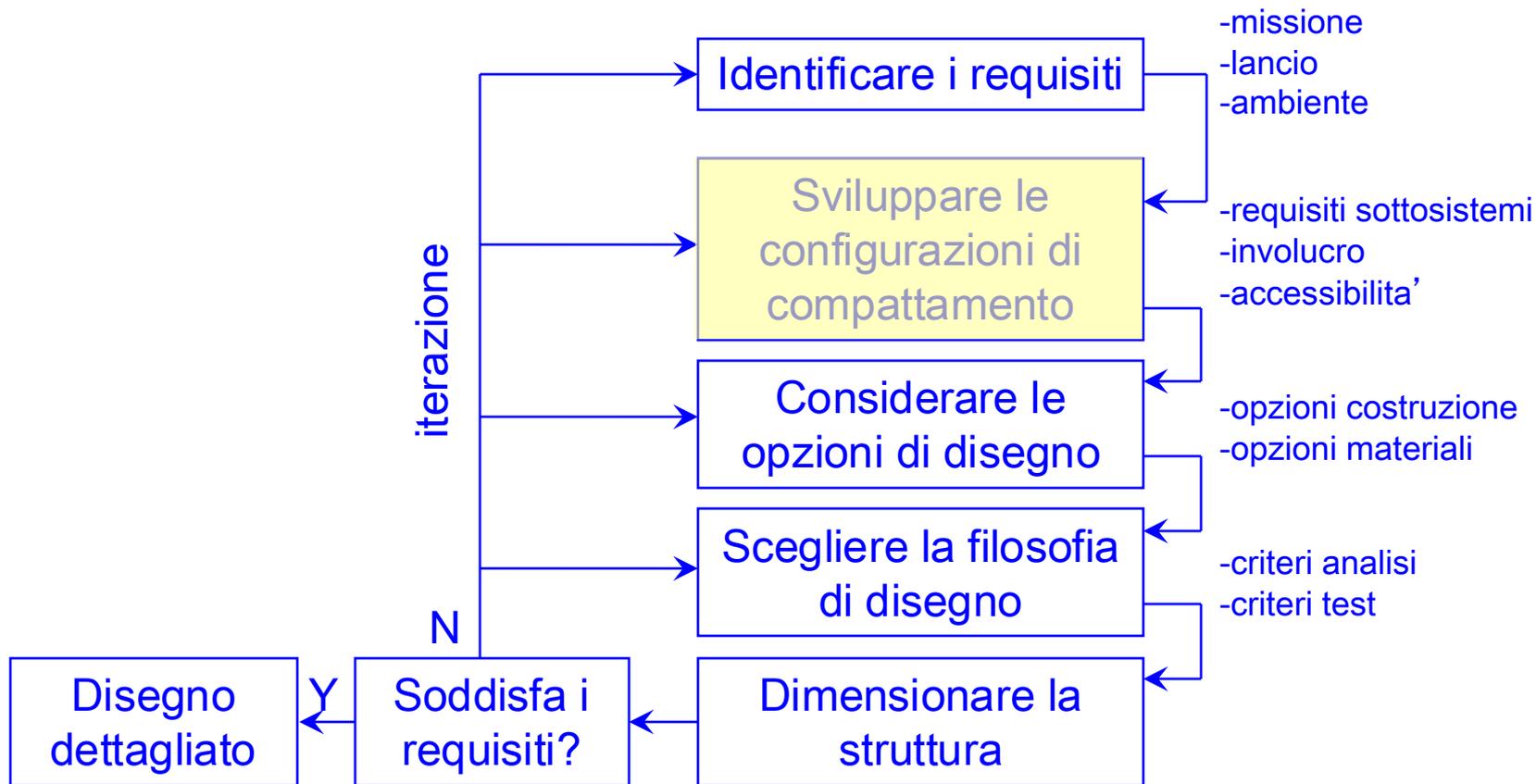


# Requisiti della struttura

---

- Rigidità
  - o Misura del carico che causa una distorsione
- Solidità
  - o Quantita' di carico che la struttura puo' sopportare
- Durata strutturale
  - o Numero di cicli di carico che la struttura puo' sopportare
- Stabilità di posizionamento
  - o Capacita' di mantenere posizione e/o orientamento entro certi limiti
- Spazio a disposizione
  - o Lo spazio fisico entro cui la struttura deve rimanere quando soggetta a carichi

# Processi del disegno meccanico – 2



# Configurare il Satellite

---

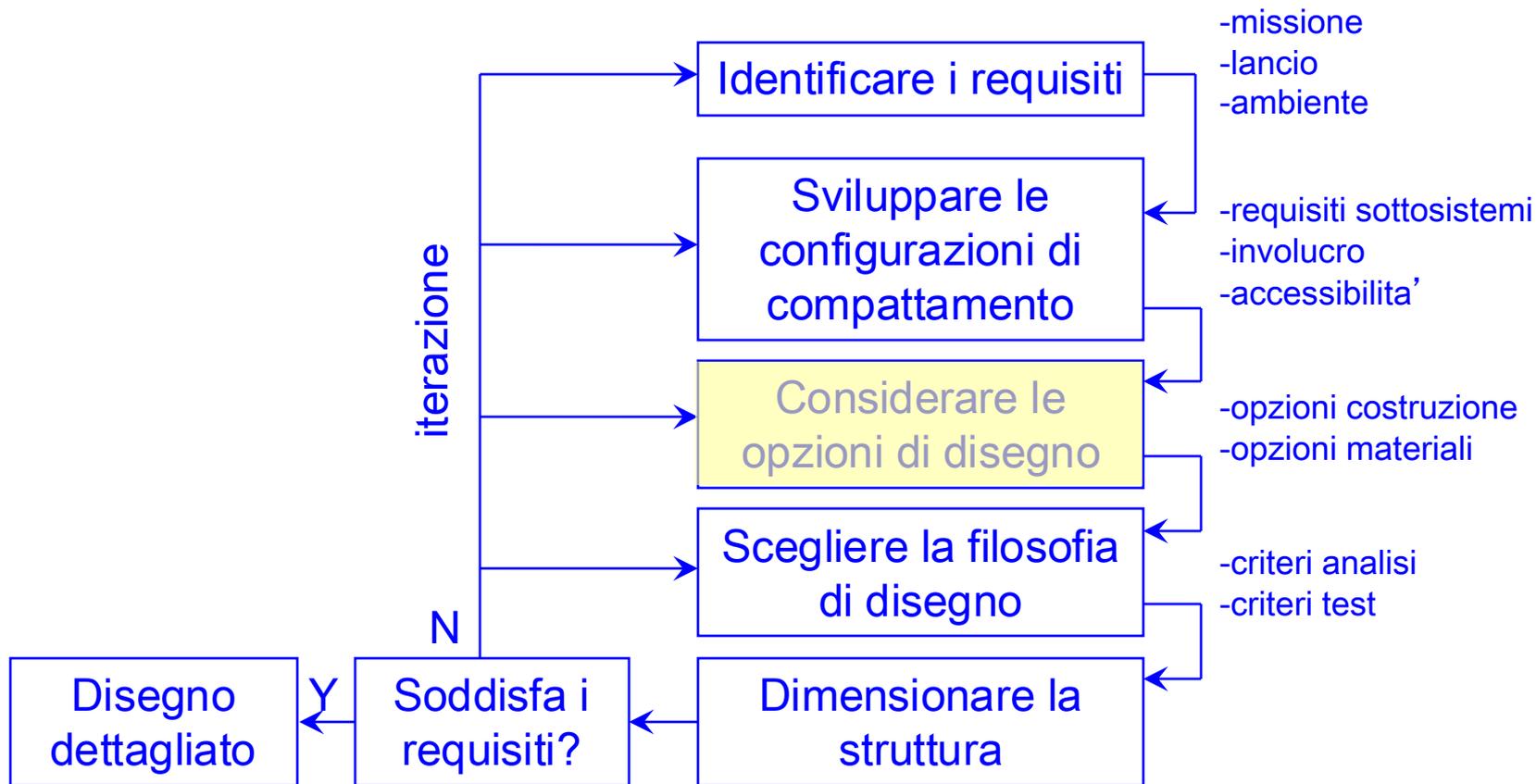
- Identificare le componenti principali
- Posizionare il P/L scientifico
- Selezionare una forma e l'architettura
- Sketch posizionamento componenti principali
- Posizionare le strutture dispiegabili
- Calcolare le proprietà della struttura
  - o Massa, momenti di inerzia, CdM (ogni componente)
- Verifica (altri sistemi e sotto-sistemi)

# Linee Guida per Definire l'Involucro

---

- Accesso alle componenti per installazione o controllo
  - o Struttura simmetrica, disegno modulare
- Lanciatore
  - o Componenti massive vicine al lanciatore
  - o Componenti sensibili alle vibrazioni lontane dal lanciatore
- Componenti elettriche vicine fra loro
- Componenti sensibili contaminazione lontane dai thrusters
- Propellente vicino al CdM
- Pannelli solari e componenti sensibili alla temperatura distribuiti simmetricamente
- Lunghezza appendici minima

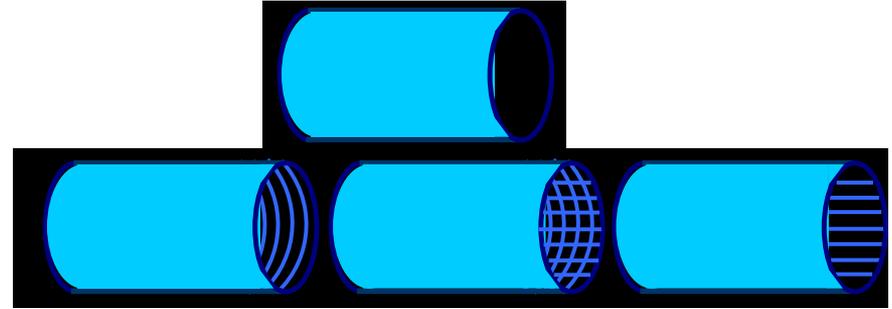
# Processi del disegno meccanico – 3



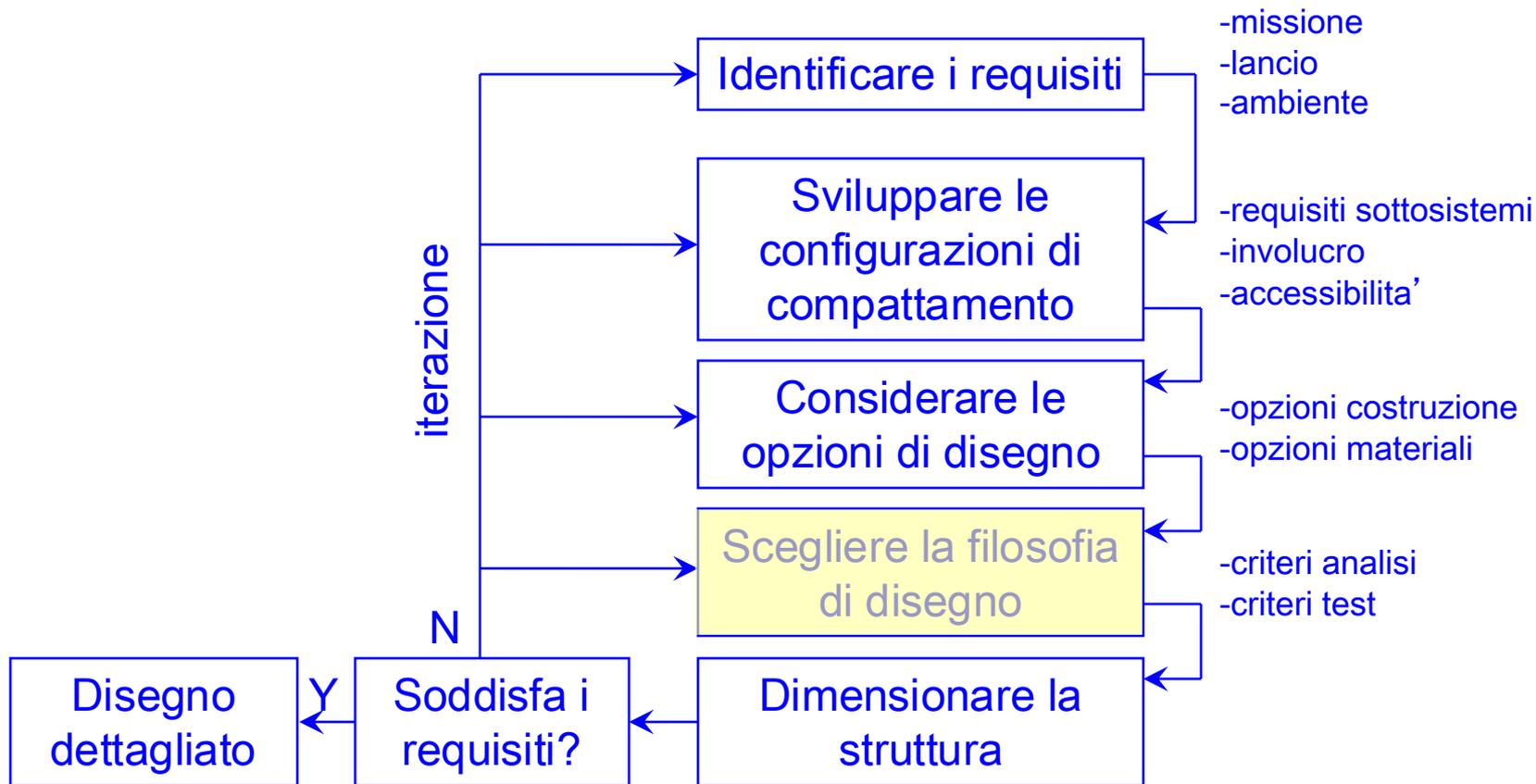
# Opzioni di Disegno

---

- **Struttura primaria**
  - o Cilindro
- **Modalita' di costruzione**
  - o Tipo di cilindro
- **Materiali tipici**
  - o Leghe di alluminio
- **Interfacce**
  - o Rivetti vs viti et al.
- **Involucri e accessi**
  - o Pannelli removibili
- **Intelaiature**
- **Strutture secondarie e terziarie**



# Processi del disegno meccanico – 4



# Requisiti della struttura...

---

- Rigidità

- Misura del carico (=spettro frequenze vibrazione) che causa una distorsione

- Solidità

- Quantità di carico che la struttura può sopportare

- Stabilità di posizionamento

- Capacità di mantenere posizione e/o orientamento entro certi limiti

- ...

## In pratica (rigidità):

- Risposta strutturale

- Intensità e durata vibrazioni in risposta a carichi esterni

- Frequenza naturale - “fondamentale”

- Frequenza a cui vibra quando soggetta a carichi esterni temporanei

- Maggiore di un certo valore...

# Filosofia di Disegno: criteri da seguire

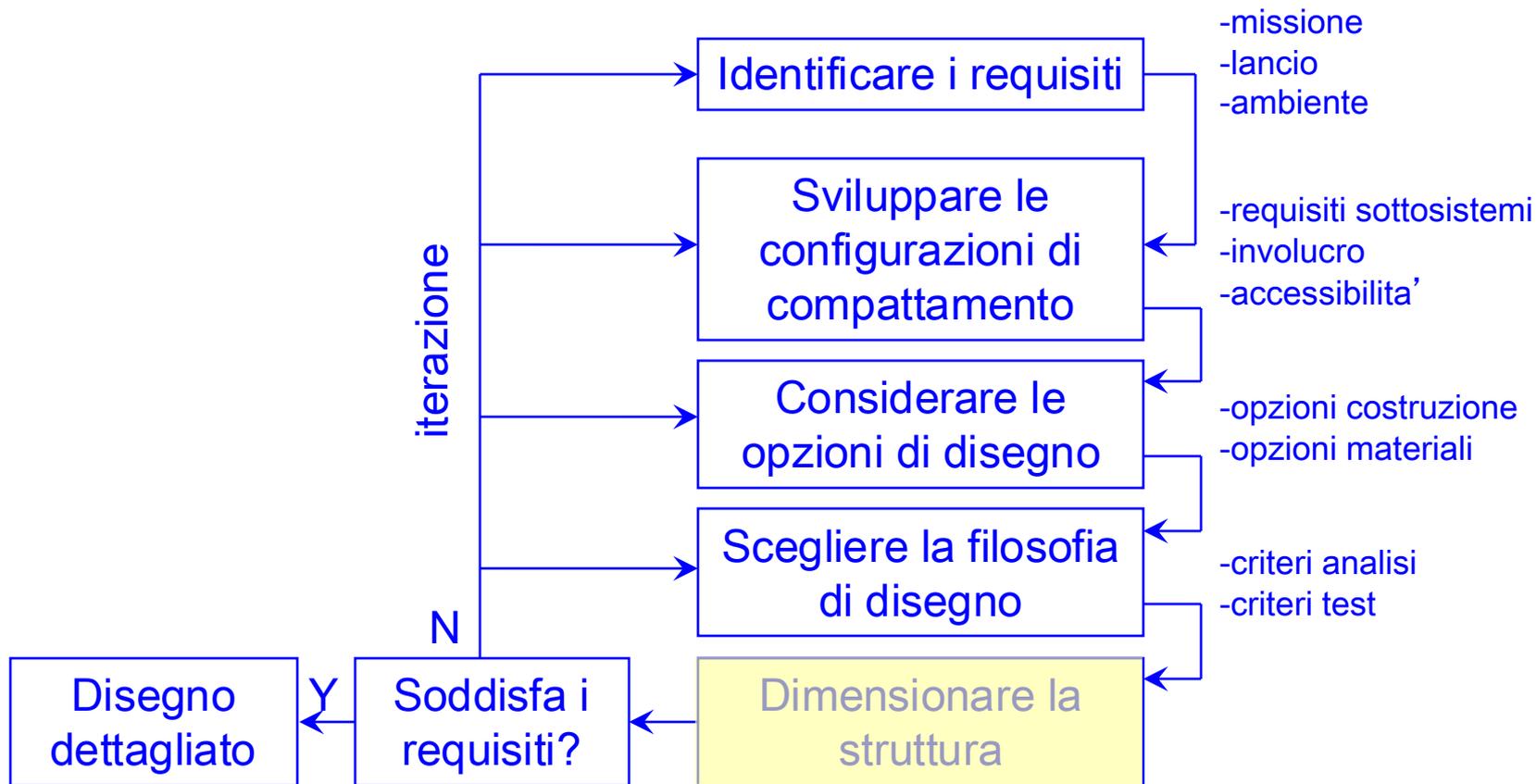
---

Modelli / Test  
(solidità)

- Fattori di carico  $\ell$  (input)
- Carico e stress limite  $P=mg\ell, \sigma=P/A$
- Fattore di sicurezza  $s$  (input)
- Carico nominale da disegno  $P^*=mg\ell s$
- Stress nominale da disegno  $\sigma^*=mg\ell s / A$
- Carico e stress accettabile  $P_a, \sigma_a$  (materiale)  
Margine di sicurezza  $MS= \sigma_a/\sigma^*-1=P_a/P^*-1$

**Rischio calcolato, ma non nullo !!!**

# Processi del disegno meccanico – 5

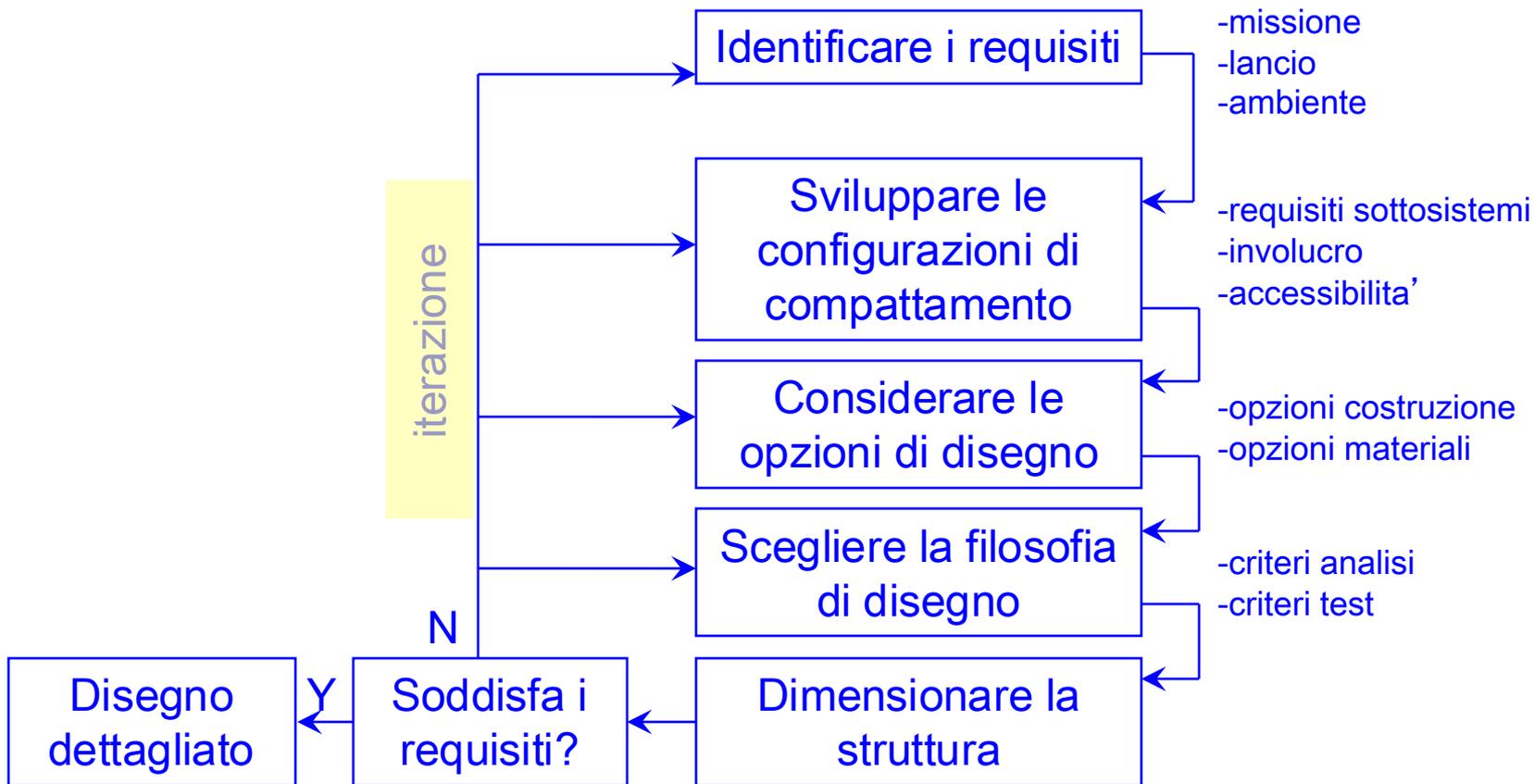


# Dimensionare la Struttura

---

- Selezionare la struttura (forma, tipo, materiale)
- Determinare le dimensioni e la distribuzione di massa di tutte le componenti della struttura
- Determinare i carichi, applicare i carichi considerati
- Confrontare i risultati con i valori definiti dalla struttura nominale
  
- Iterare il processo

# Processi del disegno meccanico – Iter.



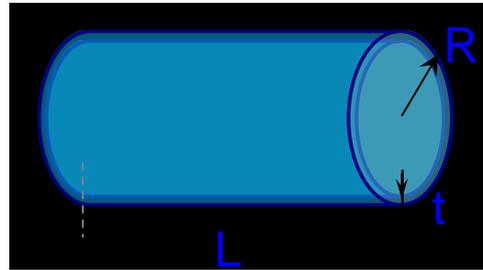
# Requisiti della struttura...

---

- Rigidità
  - Misura del carico (=spettro frequenze vibrazione) che causa una distorsione
- Solidità
  - Quantità di carico che la struttura può sopportare
- Stabilità di posizionamento
  - Capacità di mantenere posizione e/o orientamento entro certi limiti
- ...
  - In pratica (rigidità):**
  - Risposta strutturale
    - Intensità e durata vibrazioni in risposta a carichi esterni
  - Frequenza naturale - “fondamentale”
    - Frequenza a cui vibra quando soggetta a carichi esterni temporanei
    - **Maggiore di un certo valore...**

# Dimensionamento 1/3

Fascio uniforme: massa  $m_b$ , lung.  $L$ , raggio  $R$ , spessore  $t$



## ➤ Rigidità (frequenze lanciatore)

o carichi assiali:  $\propto A/L = 2\pi(R/L)t$

$$f_{ax, nat} = 0.250 \sqrt{A E / m_b L}$$

o carichi laterali:  $\propto I/L^3 = \pi(R/L)^3 t$

$$f_{lat, nat} = 0.560 \sqrt{I E / m_b L^3}$$

area trasversale ( $A=2\pi Rt$ )

modulo di Young

inerzia trasversale  
( $I=\pi R^3 t$ ) "areale"

# Dimensionamento 2/3

- Solidità (carichi lanciatore)
- o  $P_{eq} = P_{axial} + P_{lat} =$   
 $= m_b g \ell_{ax} + 2M/R =$   
 $= m_b g \ell_{ax} + m_b g \ell_{lat} L/R$   
*(Annotations: "carico assiale" points to  $P_{axial}$ , "carico laterale" points to  $P_{lat}$ , "momento di torsione" points to  $2M/R$ )*
  - o  $P_{ult} = USF P_{eq}$
  - o  $\sigma_{ult} = P_{ult} / A = P_{ult} / (2\pi R t) < \sigma_{ult, mat}$   
*(da comparare con lo stress "ultimate"  $\sigma_{ult, mat}$ , caratteristico del materiale)*
  - o Definito lo spessore  $t$ , agguorno  $P_{ult}$  e  $\sigma_{ult}$ :  
 $MS = \text{"stress ultimate materiale" / "ultimate stress"} - 1$

# Dimensionamento 3/3

---

## ➤ Stabilità (compressione)

o stress accettabile:  $\sigma_{cr}$

$$\sigma_{cr} = 0.6 \gamma E t / R$$

$$\gamma = 1.0 - \frac{0.901 \cdot (1.0 - e^{-\Phi})}{\Phi}$$

$$\Phi = 1/16 \sqrt{R/t}$$

o carico accettabile:  $P_{cr}$

$$P_{cr} = A \sigma_{cr}$$

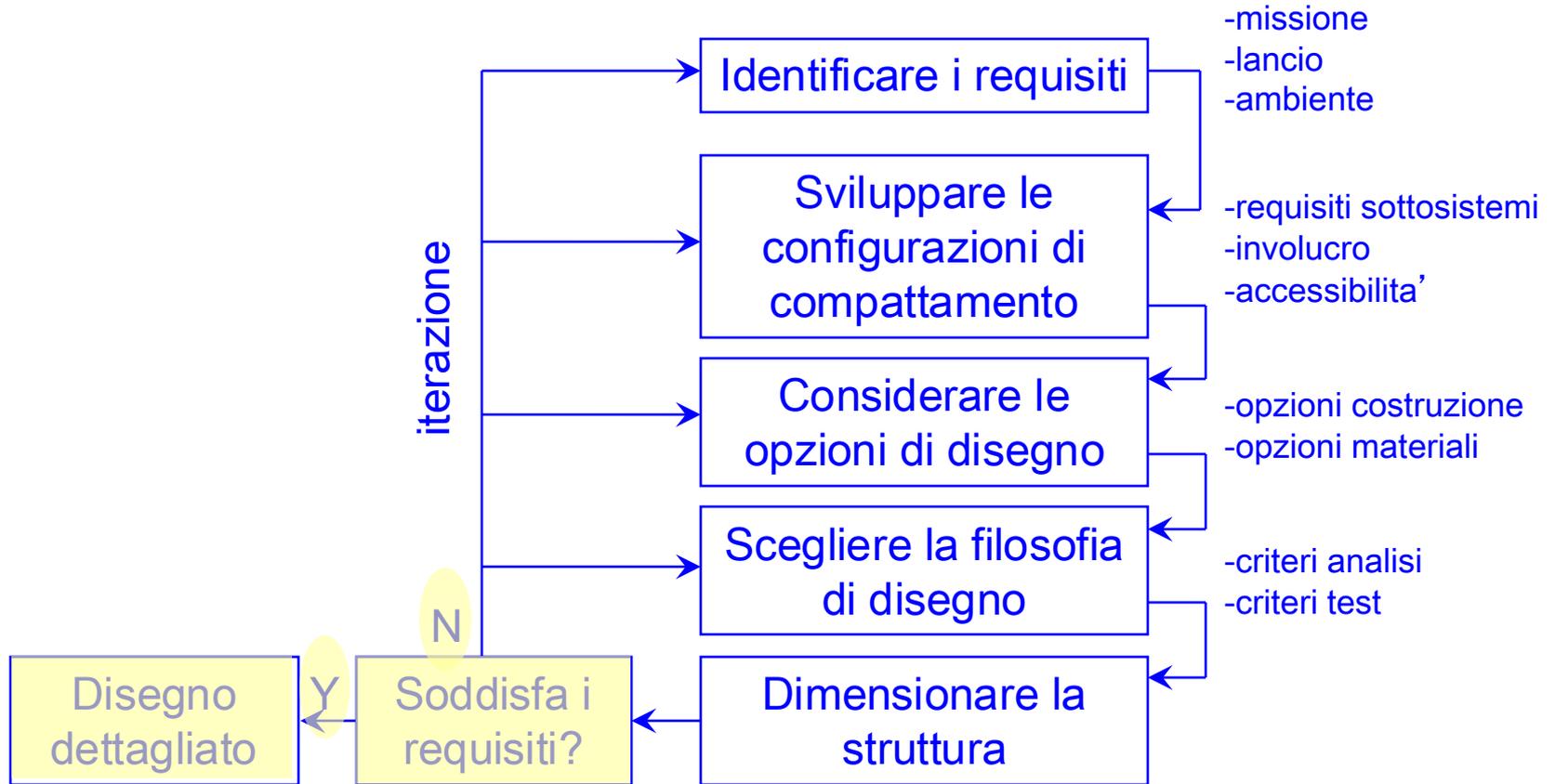
o margine di sicurezza: MS

$$MS = \frac{\text{“carico accettabile”}}{\text{“carico ultimate applicato”}} - 1 > 0$$

$P_{ult}$

Conclusion: spessore richiesto, massa struttura

# Processi del disegno meccanico



# Esempio

➤  $f_{ax, nat}, f_{lat, nat} > 18 \text{ Hz}$

➤  $\ell_{ax}=13, \ell_{lat}=6$

} lanciatore

➤ Cilindro

➤  $L=1.4 \text{ m}, R=0.6 \text{ m}, m_b=174 \text{ kg}$

} opzione costruzione

➤ Alluminio 7075:

$E=71 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2, \rho=2.8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3,$

$\sigma_{ult}=460 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2, \sigma_y=380 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2,$

$\nu=0.33$

} opzione materiale

➤  $USF = 1.25, YMS = 1.10$

} filosofia disegno

➤  $t=0.089 \text{ cm}$

} dimensionamento

# Esercizio

- $f_{ax, nat} > 15 \text{ Hz}$  ;  $f_{lat, nat} > 35 \text{ Hz}$  } lanciatore
- $l_{ax}=6$ ,  $l_{lat}=2$
- Cilindro,  $L=4 \text{ m}$ ,  $R=1.3 \text{ m}$ ,  $m_b=2089 \text{ kg}$  } opzione costruzione  
(mech. structure 250 kg)
- Alluminio 7075: } opzione materiale  
 $E=71 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ ,  $\rho=2.8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  
 $\sigma_{ult}=524 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ ,  $\sigma_y=448 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$
- $USF = 1.25$ ,  $YMS = 1.10$  } filosofia disegno

calcolare:

- Rigidità:  $t_{ax} = ?$ ,  $t_{lat} = ?$
- Solidità:  $t = ?$
- Stabilità ? massa = ?
- $t=0.25 \text{ cm}$  } dimensionamento

---

# Telecomunicazioni da/per un satellite

# SOTTO-SISTEMI



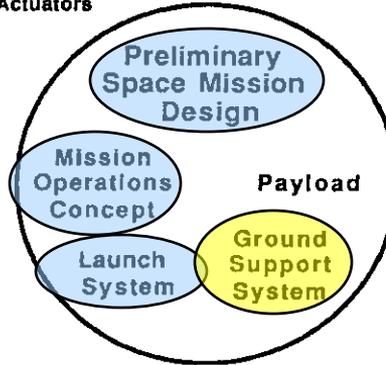
- Attitude Determination and Control Approach
- Sensors and Actuators



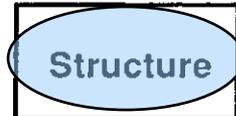
- Orbit Determination Approach
- Orbit Control Approach



- Passive vs Active
- Radiator Area



- Power Production Techniques
- Solar Array Configuration and Size
- Battery Capacity and Depth of Discharge



- Required Stiffness
- Types of Structures
- Mass Distribution
- Materials
- Interfaces

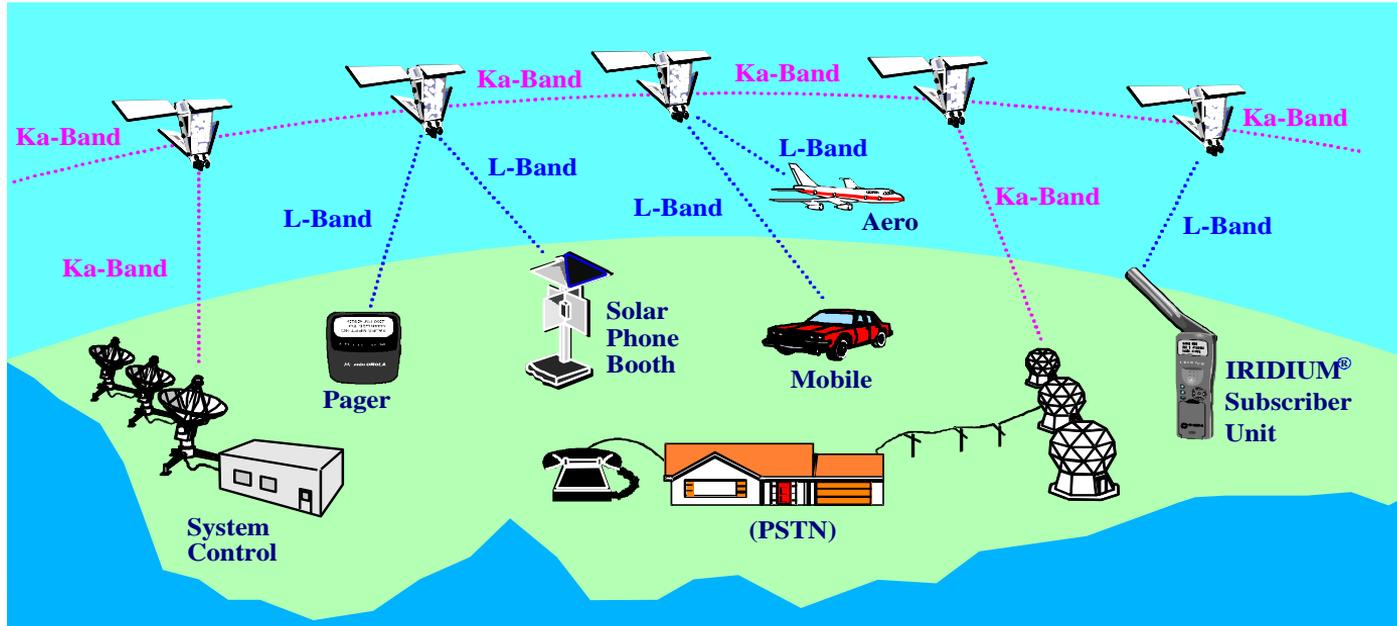


- Propulsion Technology
- Mass and Tankage
- Thruster Sizing



- Required Performance
- EIRP and G/T
- Telemetry and Command Link Performance

# Sistemi di comunicazione



- 👉 Riceve segnali da Terra / da un altro satellite
- 👉 Trasmette segnali a Terra / a un altro satellite

Uplink

Downlink

# Caratterizzazione 1/2

---

## ➤ Servizio

- Fisso: punto a punto (entrambi fissi)
- Mobile: punto a punto (uno o entrambi mobili)
- Broadcasting: punto a multipoint
- Data relay: space to space

## ➤ Copertura

- Globale
- Regionale

## ➤ Tecnologia

- RF
- Ottica: alte potenzialità per elevate velocità di trasmissione (*data rate*)

## ➤ Tipo di accesso

- Permette S/C di ricevere segnali simultaneamente da più GS

# Caratterizzazione 2/2

- Frequencies

– VHF:	30 - 225 MHz	VHF	little LEO and amateur
– UHF:	225 - 1000 MHz	UHF	primarily military
– L-Band:	1.0 - 2.0 GHz	↓	mobile, sound broadcast
– S-Band:	2.0 - 4.0 GHz	↓	mobile, sound broadcast
– C-Band:	4.0 - 8.0 GHz	SHF	fixed
– X-Band:	8.0 - 12.4 GHz	↓	primarily military
– Ku-Band:	12.4 - 18.0 GHz	↓	fixed, TV broadcast, data relay
– K-Band:	18.0 - 26.5 GHz	EHF	fixed and data relay
– Ka-Band:	26.5 - 40.0 GHz	↓	fixed and data relay
– Q-Band:	40.0 - 60.0 GHz	↓	data relay, military
– V-Band:	60.0 - 75.0 GHz	↓	data relay
– W-Band:	75.0 - 110 GHz	↓	data relay

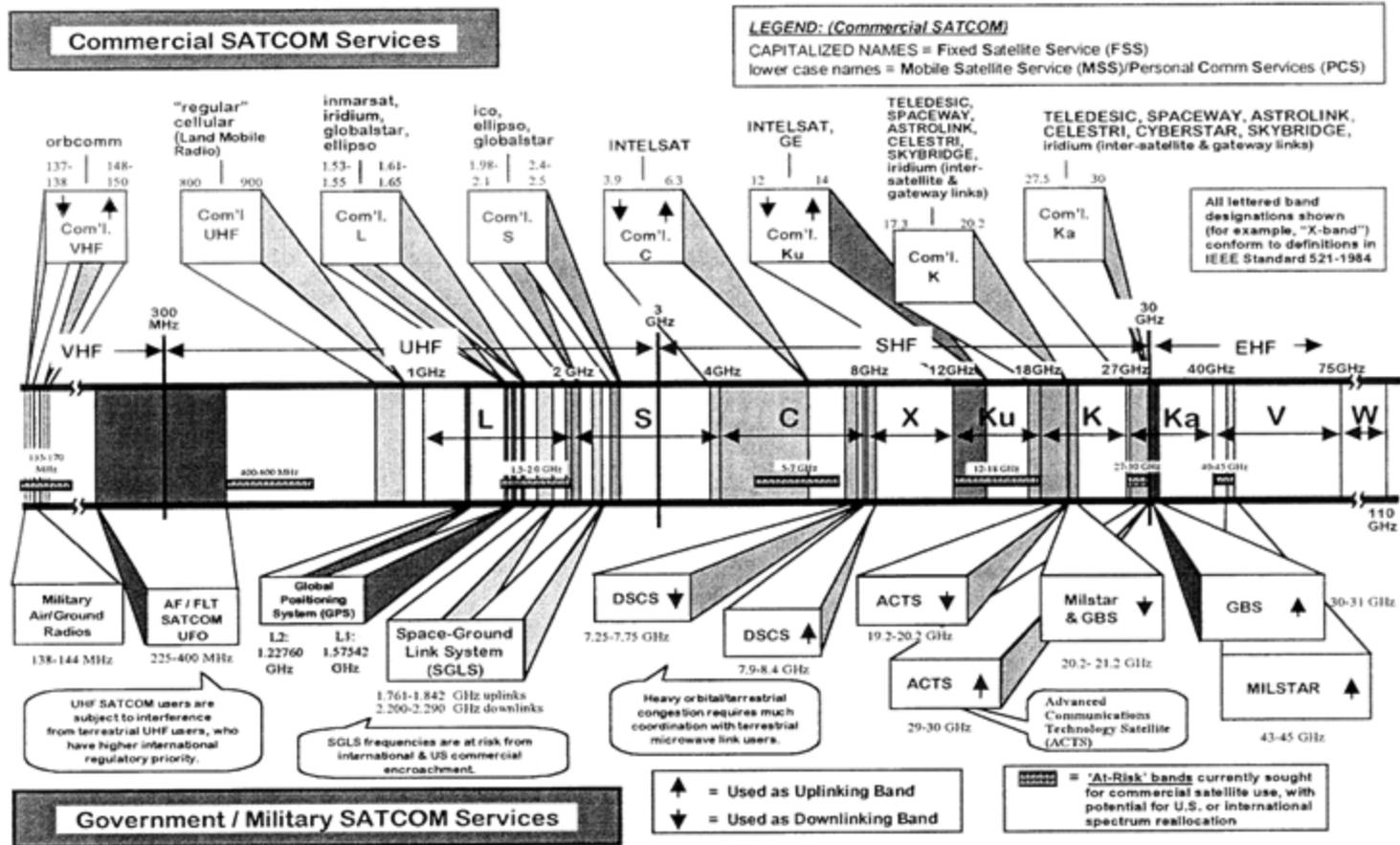
- Signal Modulation Type

- Analog AM: seldom
- Analog FM: common in the past
- Digital: increasingly replacing all others

- Architecture

- Transparent
- Regenerative (on-board modulation conversion, forward error correction, storage, and information processing)

# Utilizzo delle frequenze



# Processo di Disegno del Sistema

---

- **Identifica i requisiti**
  - Specifica: tipo dati, utenti, locazione utente, quantita' di dati, Ground Station, tempi di accesso, ritardi di trasmissione, disponibilita'...
- **Verifica il possibile utilizzo di altri sistemi**
  - Identifica: collegamenti e posizionamento GS e “processing” gia' in uso
  - Considera l'uso di satelliti/GS “relay”
- **Determina il data rate**
  - $n_{\text{campioni}} \cdot n_{\text{bit/campione}}$
- **Disegna il collegamento**
  - Seleziona: frequenza, modulazione, attenuazioni, puntamento...
- **Disegna l'antenna**
  - Seleziona: tipo, dimensioni, massa, guadagni, potenza ...
- **Documenta le ragioni della scelta**

# Data Rate

**Data Rate:** numero di bit di informazioni al secondo che devono essere trasferiti lungo il collegamento

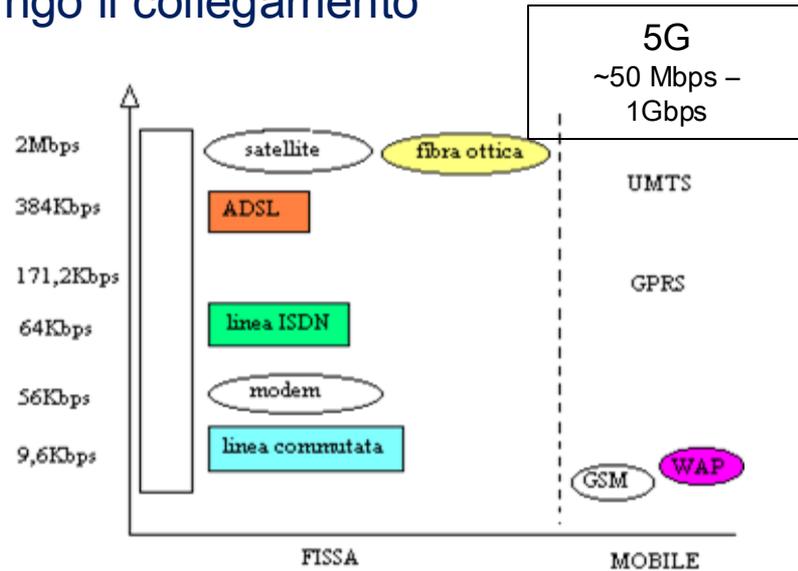
Sistemi digitali: segnali analogici campionati e quantizzati !

**circuito vocale telefonico:**

$n_{\text{campioni}} = 8000 \text{ campioni/s}$   $n_{\text{bit/campione}}$

8 bit/campione

$\Rightarrow \text{data rate} = 64 \text{ kbps}$

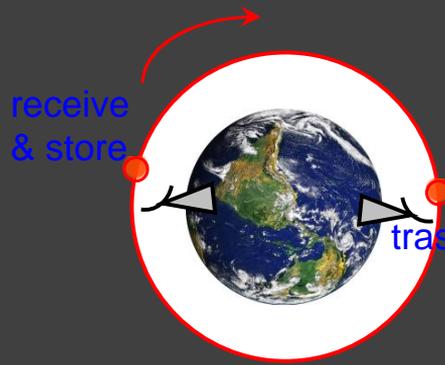


Teorema del campionamento:

un segnale analogico con  $f_{\text{max}}$  puo' essere ricostruito completamente da campioni presi ogni  $1/(2 f_{\text{max}})$  secondi

Esempio: musica di alta qualita'  $f_{\text{max}} = 20 \text{ kHz}$ , CD player lavorano con un sample di 44.1 kHz

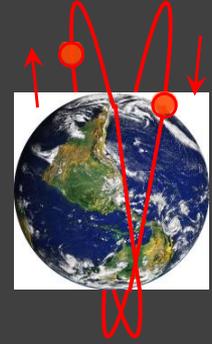
# Communication Link vs Architettura



store & forward

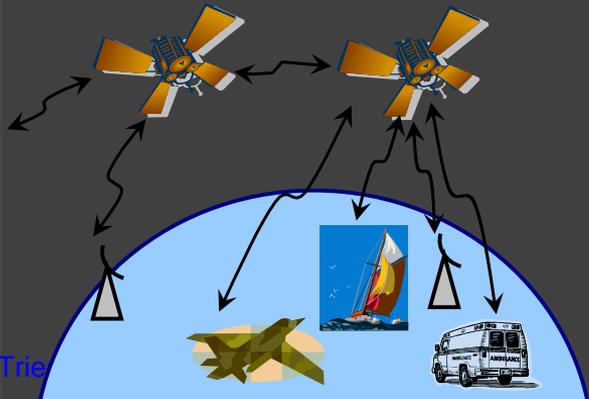


geostationary

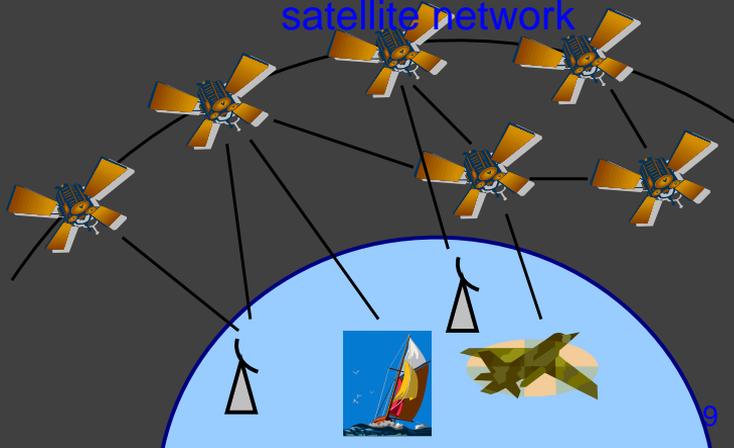


Molniya

cross-link in communication satellite system



cross-link in communication satellite network

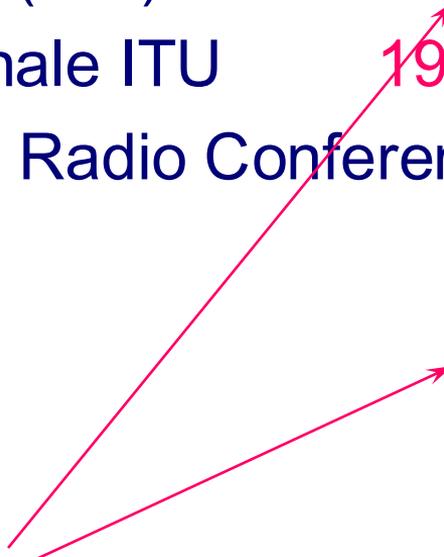


# Procedura di richiesta della frequenza

---

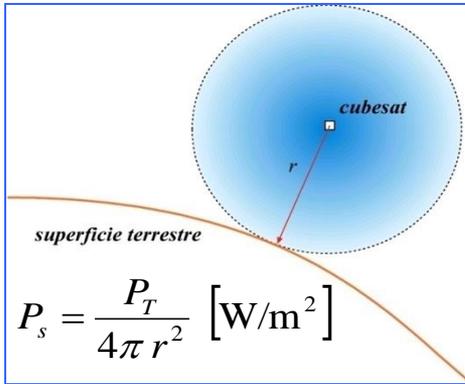
- Richiesta nazionale: FCC (usa) 1990
- Italia: richiesta internazionale ITU 1992
- ITU: World Administrative Radio Conferences (WARC) 1992
- ITU: pubblica le regole 1995

IRIDIUM



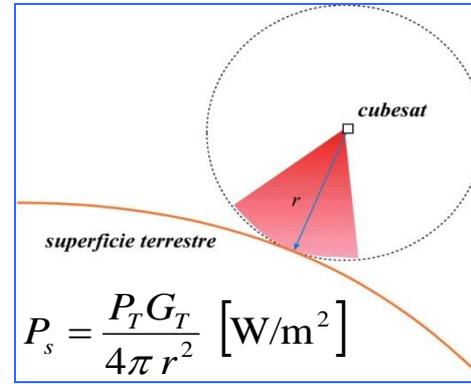
# Un po' di teoria...

Trasmissione:



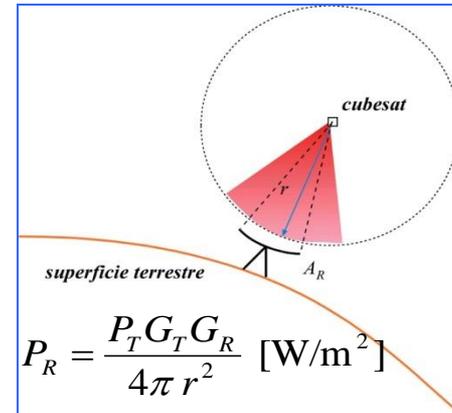
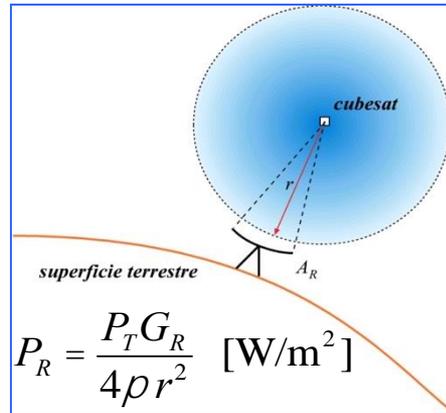
Antenna isotropa

(esempio downlink)

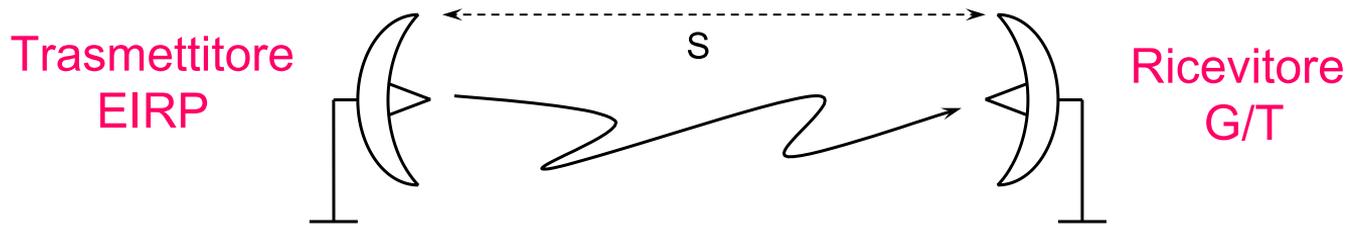


Antenna direttiva

Ricezione:



# Analisi del collegamento



- Energy per bit ( $E_b$ ), Noise density ( $N_o$ ):

$$E_b = \underbrace{P L_l G_t}_{\text{EIRP}} L_s L_a G_r / R = \text{EIRP} L_s L_a G_r / R$$

$$N_o = k T_s \quad (\text{thermal energy})$$

$$E_b/N_o = \text{EIRP} L_s L_a (G_r/T_s) / kR$$

$$= (\text{EIRP} + L_s + L_a + G_r + 228.6 - R - T_s) \text{ dB}$$

figura di merito  
trasmettitore

figura di merito

ricevitore

= 10 Log()

- Trasmittitore:  $P$ =potenza,  $L_l$ =line loss,  $G_t$ =guadagno
- Ricevitore:  $G_r$ =guadagno,  $T_s$ =noise temperature
- Sistema:  $R$ =data rate,  $L_s$ =space loss,  $L_a$ =path loss

# Caratteristiche di un'antenna

## Circular antenna beam

➤ **Guadagno di picco:  $G$**

o  $G \cong \pi^2 D^2 \eta / \lambda^2$

$\Rightarrow G \cong \eta (21\pi 10^9 / c\theta)^2$

➤ **Half power width alla frequenza  $f$  (GHz):  $\theta$**

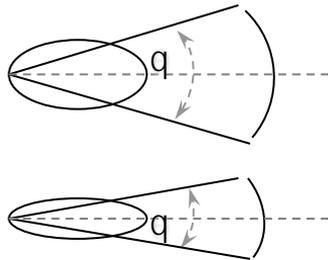
o  $\theta = 21 / fD$  (gradi)

$\Leftrightarrow$

$D = 21 / f\theta$  [m]

➤ **Riduzione di guadagno da offset di puntamento  $e$  (gradi):  $L_\theta \Rightarrow G_f = L_\theta G$**

o  $L_\theta = -12 (e/\theta)^2$  dB



coverage area →

figure of merit →

		antenna 1	antenna 2
f	(GHz)		0.500
$\lambda$	(m)		0.600
$\eta$			0.58
$L_\theta$			0.8
P	(W)	25	1
$\theta$	(gradi)	75	15
D	(m)	0.560	2.800
$G_t$		5	125
EIRP ( $PLG_t$ )		100	100

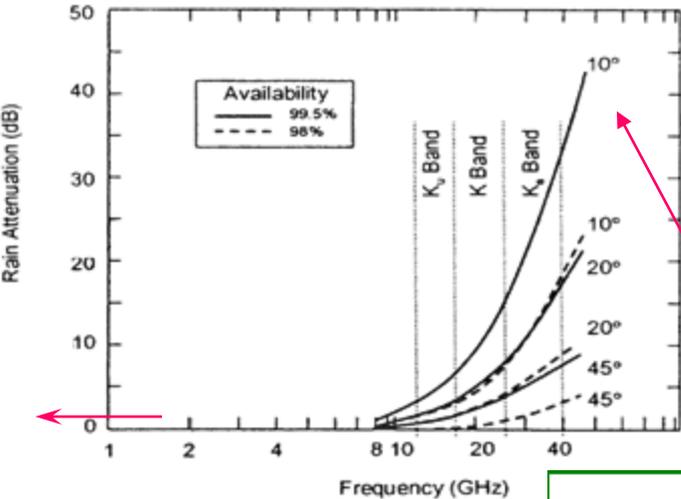
# Perdite

## ➤ Space loss: $L_s$

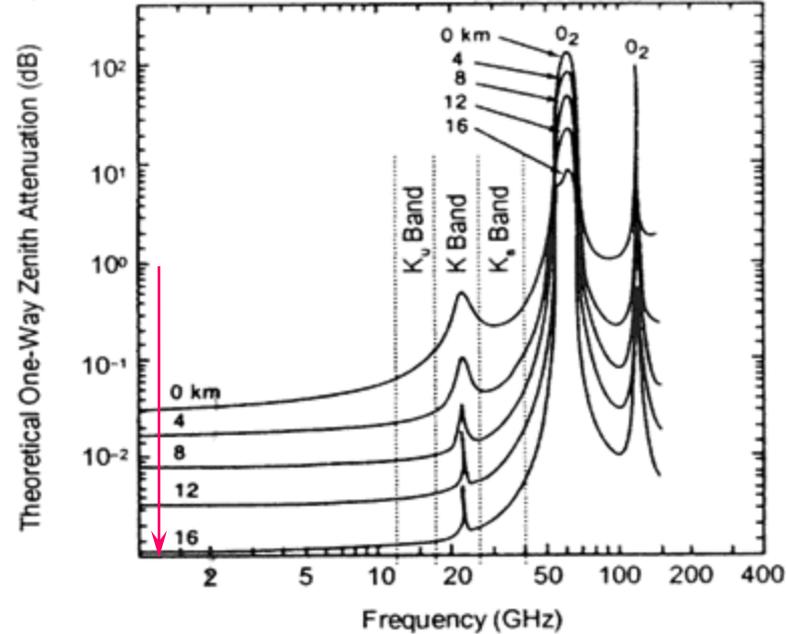
o  $L_s = (\lambda/4\pi s)^2$  s=path length

## ➤ Path loss (atmospheric & rain): $L_a$

## ➤ Noise Temperature: $T_s$



elevation angle

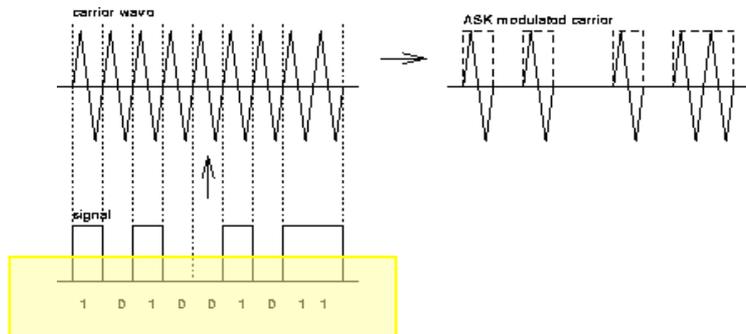


	Downlink	Crosslink	Uplink			
Frequenza (GHz)	0.2	2-12	20	60	0.2-20	40
System Noise Temperature (K)	221	135	424	682	614	763
System Noise Temperature (dB-K)	23.4	21.3	26.3	28.3	27.9	28.8

# Modulazione 1/4

## Amplitude Shift Keying

$$s(t) = f(t) \sin(2\pi f_c t + \phi)$$

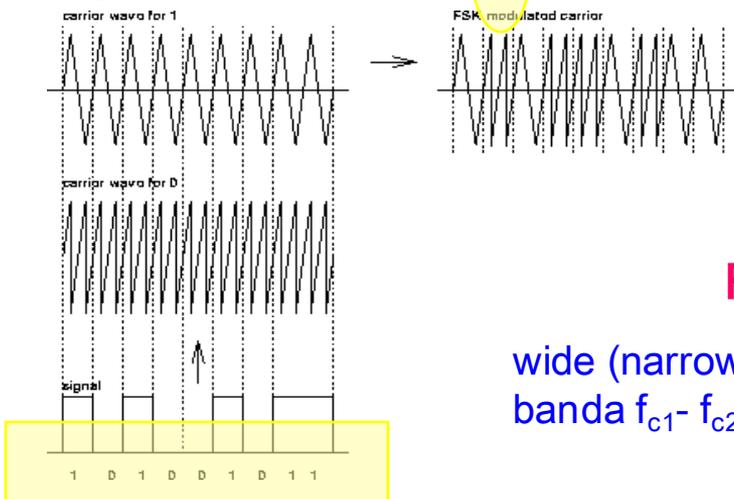


ASK

larghezza di banda  
inalterata

## Frequency Shift Keying

$$s(t) = f_1(t) \sin(2\pi f_{c1} t + \phi) + f_2(t) \sin(2\pi f_{c2} t + \phi)$$

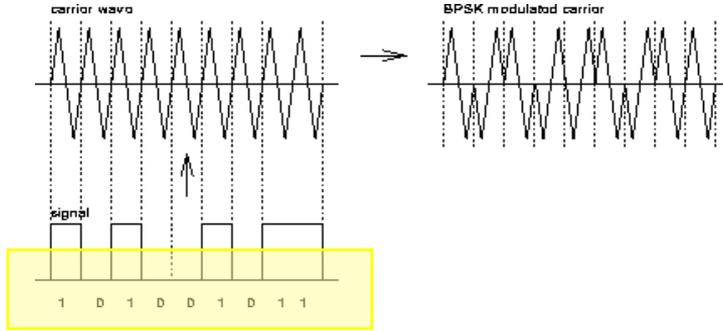


FSK

wide (narrow) band:  
banda  $f_{c1} - f_{c2} \gg$  banda  $f_1(t) - f_2(t)$

# Modulazione 2/4

## Phase Shift Keying



$$s(t) = \sin(2\pi f_c t + \phi(t))$$

← 0    0  
          $\pi/2$   
←  $\pi$      $\pi$   
          $3\pi/2$

PSK

BPSK

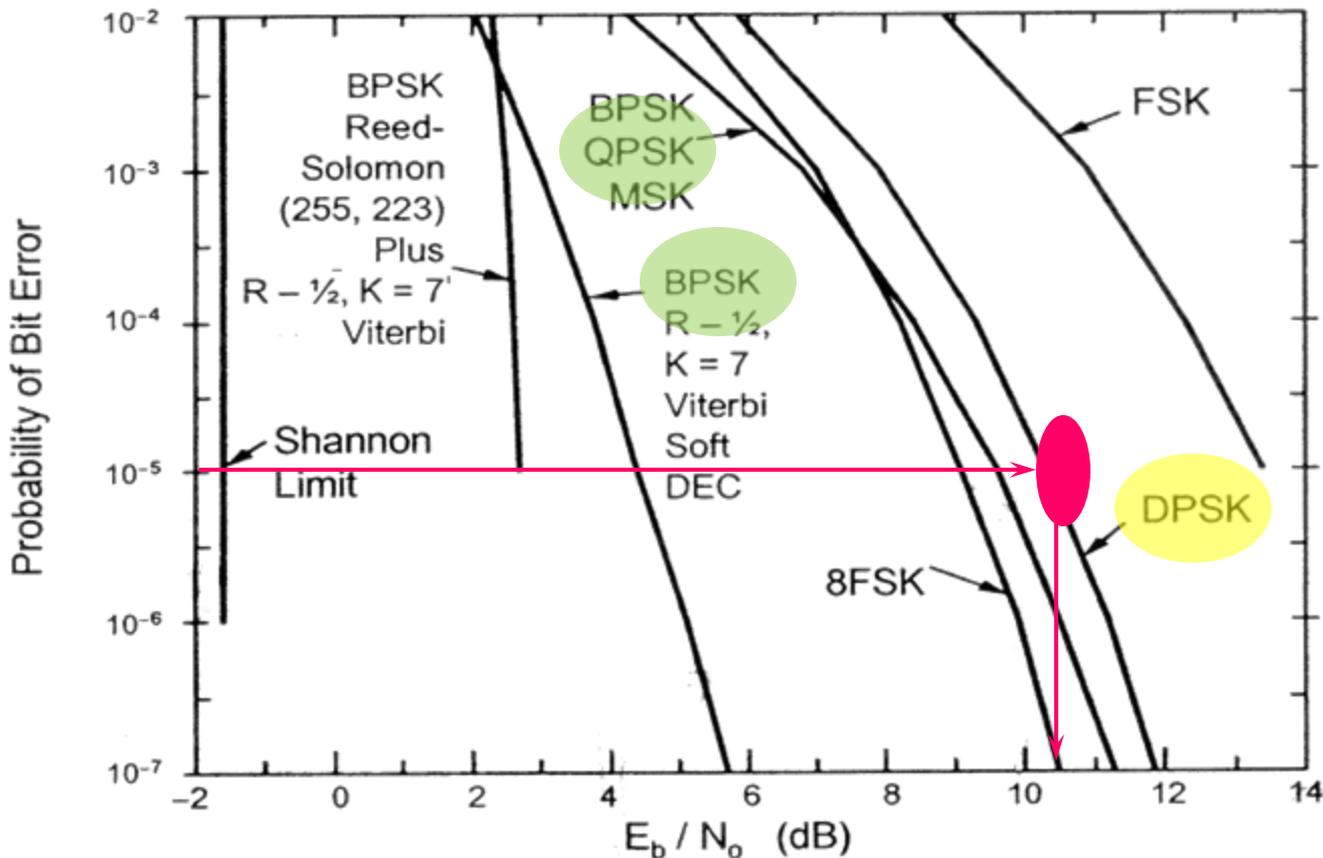
QPSK

MPSK

M fasi:  $2\pi m/M$   
 $m=0,1,\dots M-1$

Signaling rate: numero di volte in cui cambia il parametro del segnale (A, f,  $\phi$ ). Misura: baud  
ASK, FSK, PSK:        bit rate = signaling rate  
QPSK, MPSK:         bit rate > signaling rate

# Modulazione 4/4



## Phase/Frequency Shift Keying

# Esempio

## ➤ Downlink analysis

- o  $f=2.2$  GHz,  $R=17$  Mbps, bit err rate= $10^{-5}$
- o Trasmitter:  $P=13$  dB,  $L_l=-1$  dB,  $G_t=1.4$  dB,  $e_t=70^\circ$
- o  $L_s=-\dots$  dB ( $h=1000$  km),  $L_a=-0.5$  dB
- o Receiver:  $G_r=39.1$  dB,  $e_r=0.2^\circ$ ,  $T_s=135$  K
- o  $\eta=0.55$
- o PSK

$$\Rightarrow E_b/N_o = (EIRP + L_s + L_a + G_r + 228.6 - R - T_s) \text{ dB}$$

$$\Rightarrow \text{Margine} = (E_b/N_o) - (E_b/N_o)_{\text{required}} - \text{perdite}$$

## ➤ Uplink analysis ...

# Esercizio (downlink)

## Orbit & Geometry

Altitude	600 km
Inclination	60 deg
Min. elevation angle	10 deg

## Link

f	12.6 GHz
Modulation	QSPK
Implementation loss	2 dB

## Requirements

R	28.8 Gbps
Bit error rate	1.0E-05
Margin	3.5 dB

## S/C

Antenna efficiency	0.55
Pointing error	0.2 deg
Transmitter Line Loss	3 dB
Antenna diameter	1 m

## Ground Station

Antenna diameter	4 m
Antenna efficiency	0.65
Pointing error	0.04 deg
Noise Temperature	135 K
Increase Noise due to rain	174.55 K

Evaluate the power of the S/C transmitter!!!

$$E_b/N_o = (EIRP + L_s + L_a + G_r + 228.6 - R - T_s) \text{ dB}$$

$$EIRP = P + L_l + G_t$$