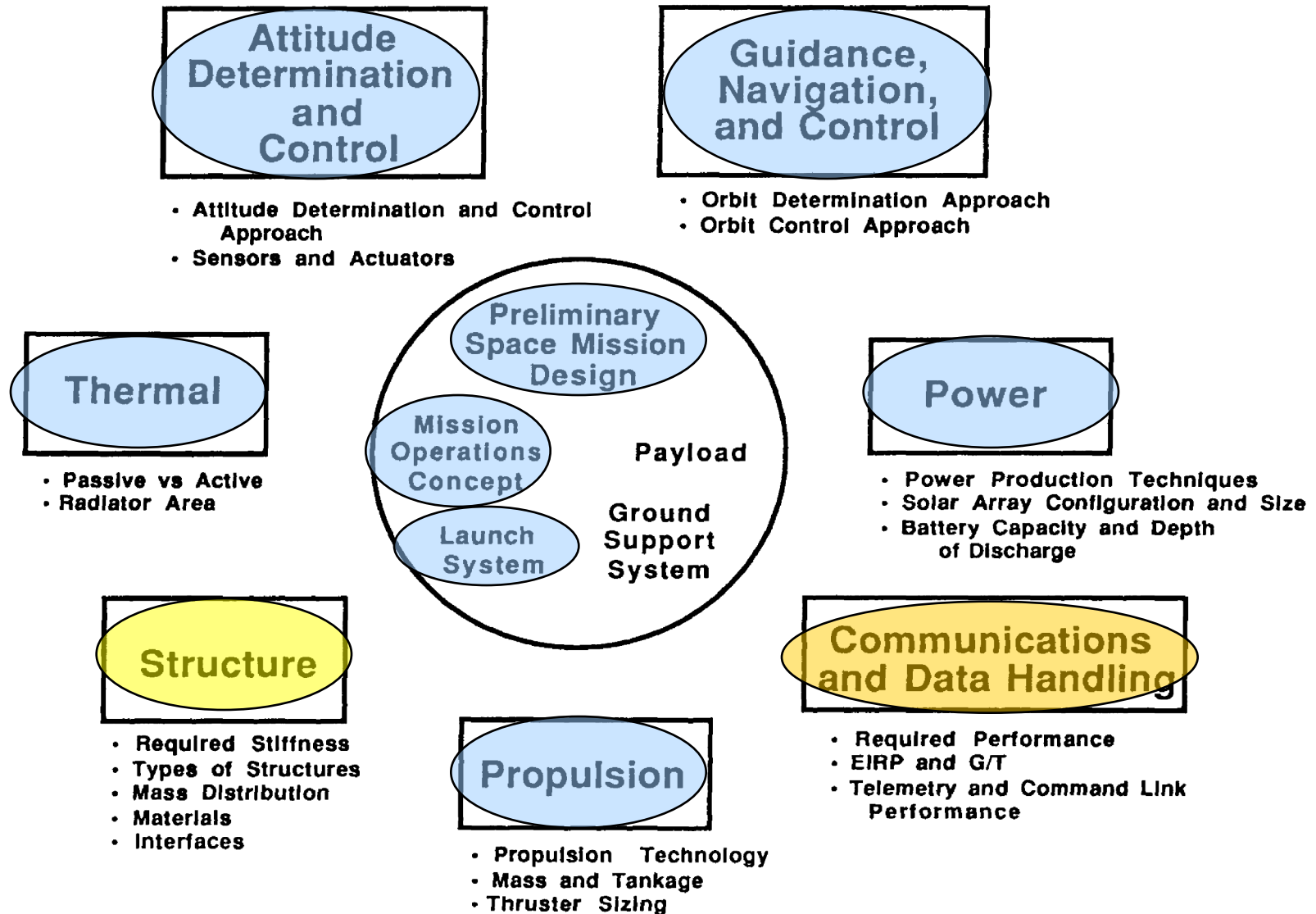

La struttura di un satellite

SOTTO-SISTEMI



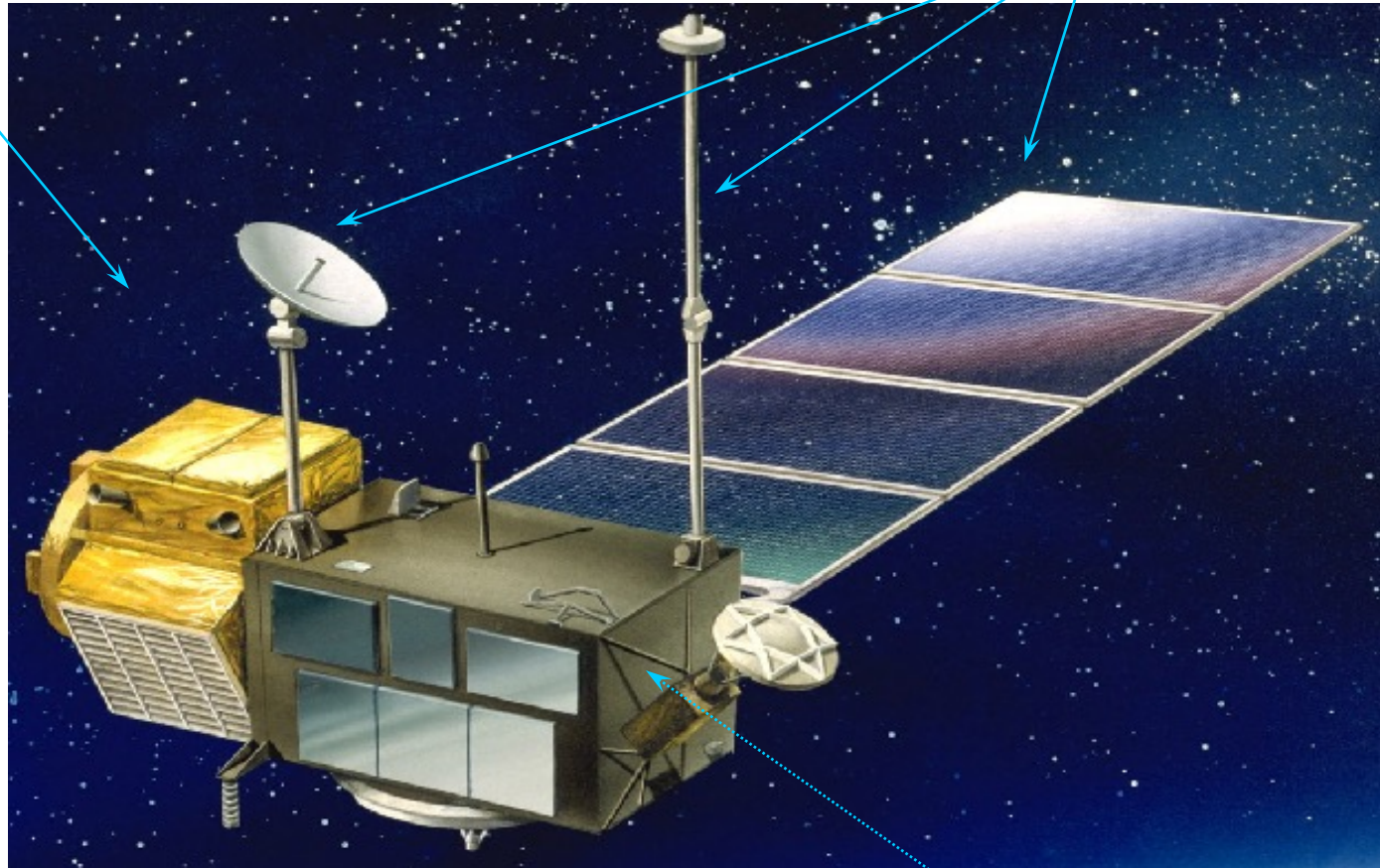
Utilizzo della Struttura

- 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

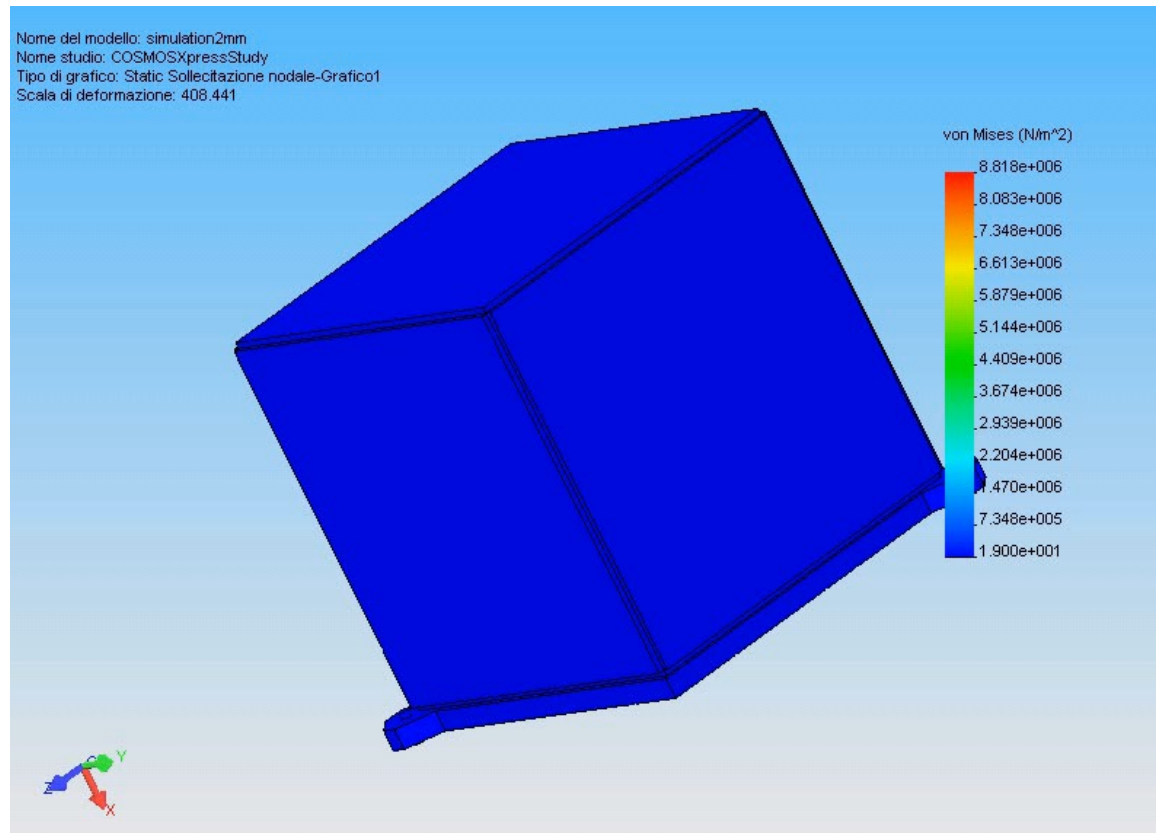
Strutture Primarie

Strutture Secondarie



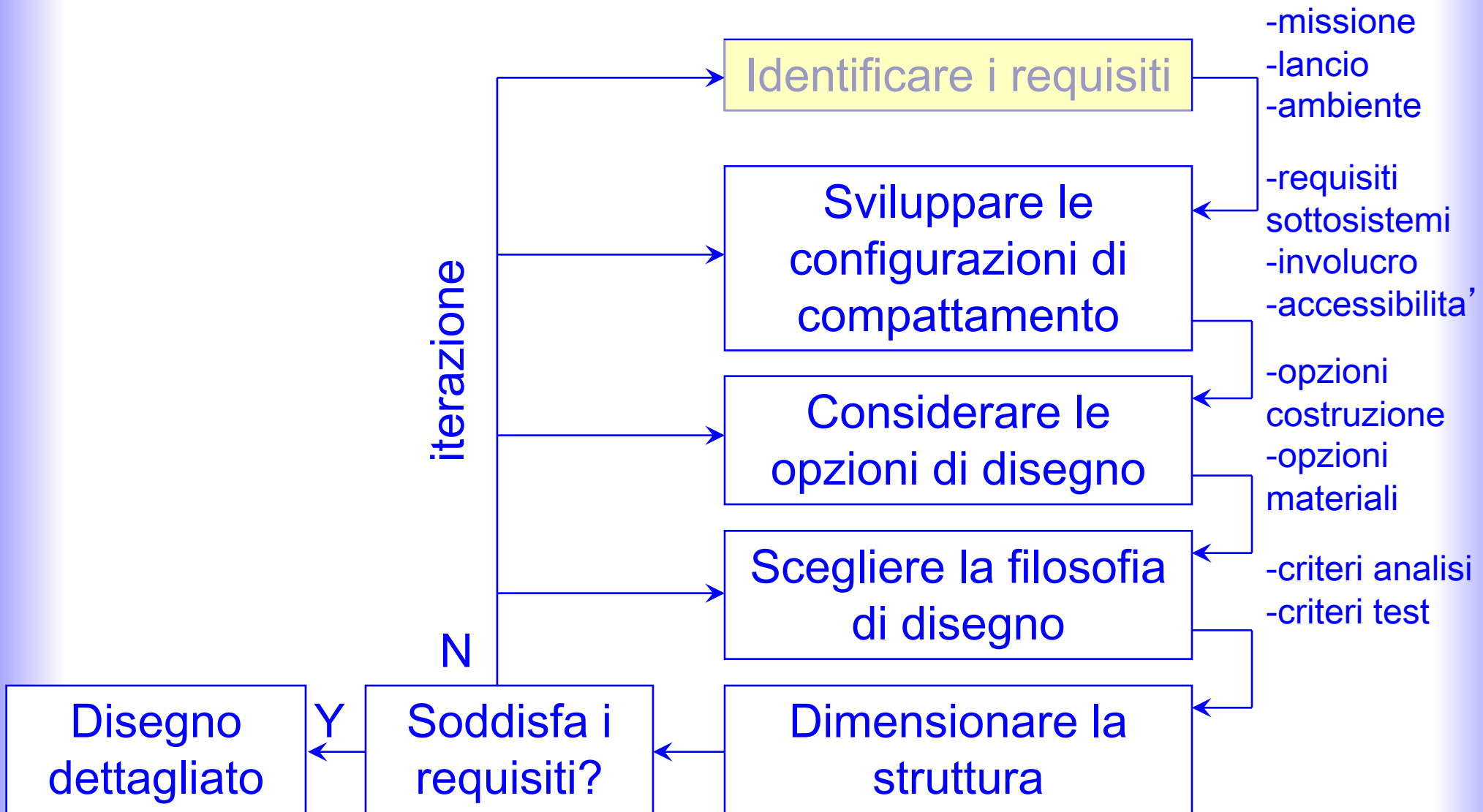
Strutture Terziarie

Esempio: carico per pressione atmosferica



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

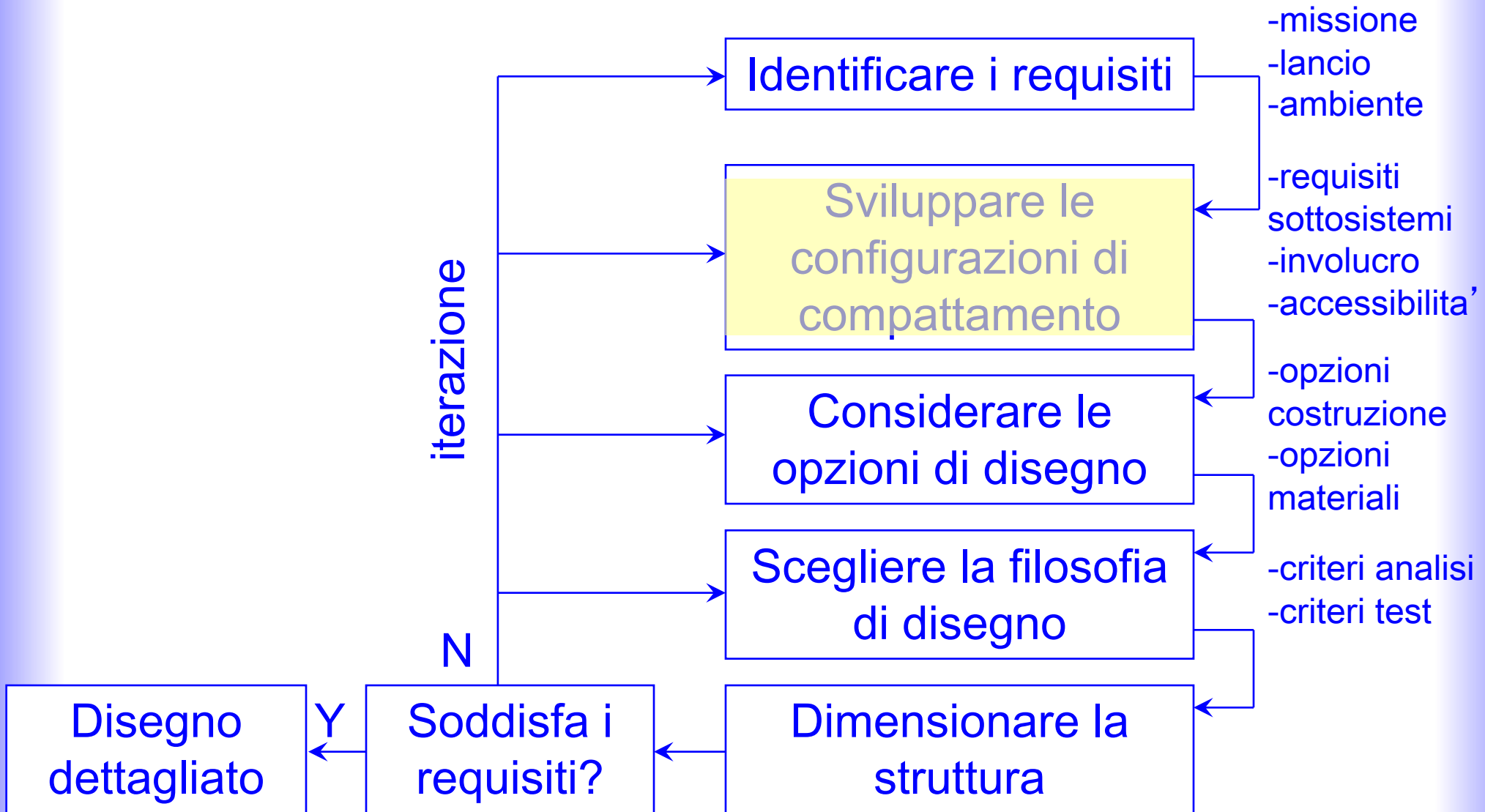
Processi del disegno meccanico – 1



Requisiti della struttura

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

Processi del disegno meccanico – 2



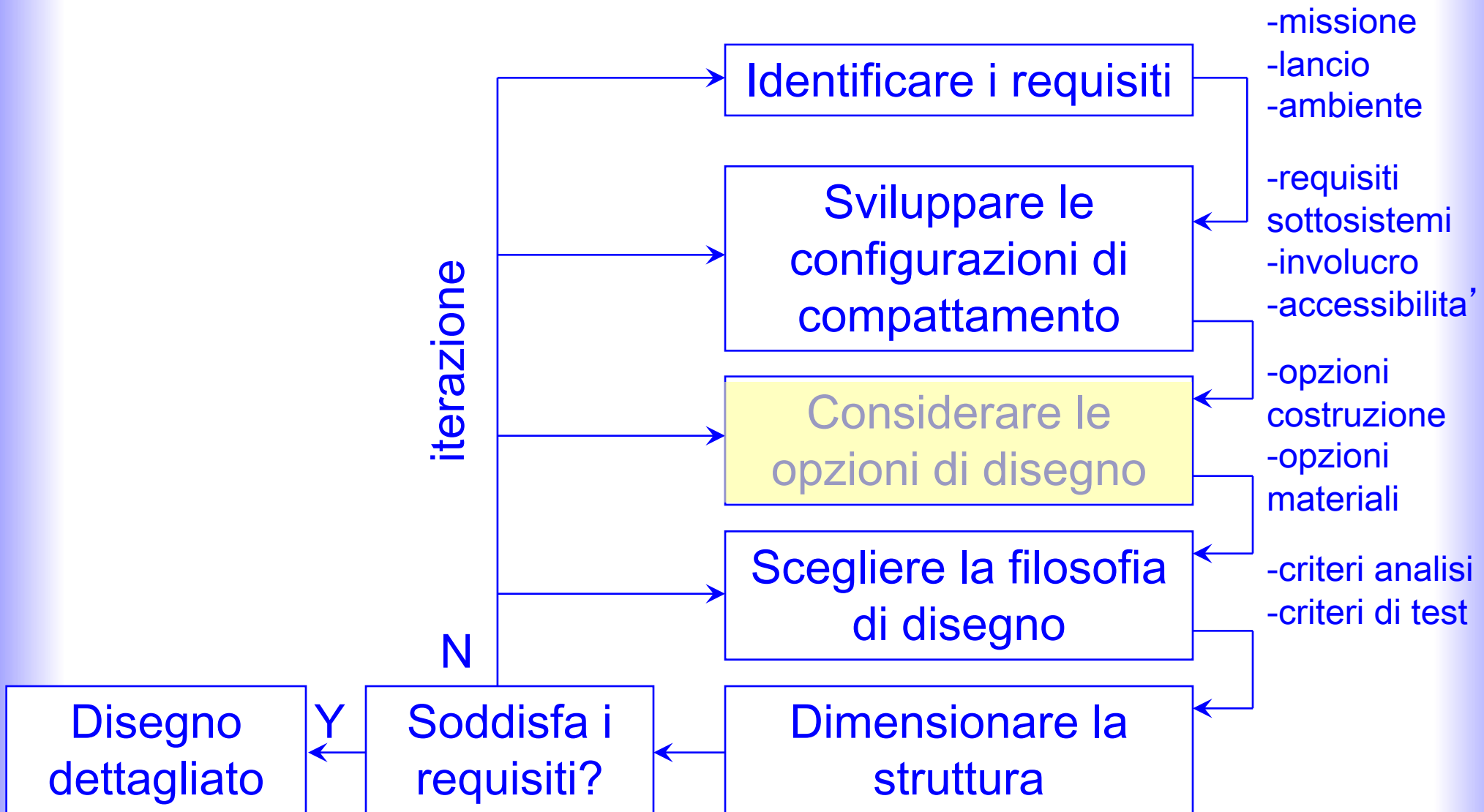
Configurare il Satellite

- 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
 - Massa, momenti di inerzia, CdM (ogni componente)
- Verifica (altri sistemi e sotto-sistemi)

Linee Guida per Definire l'Involucro

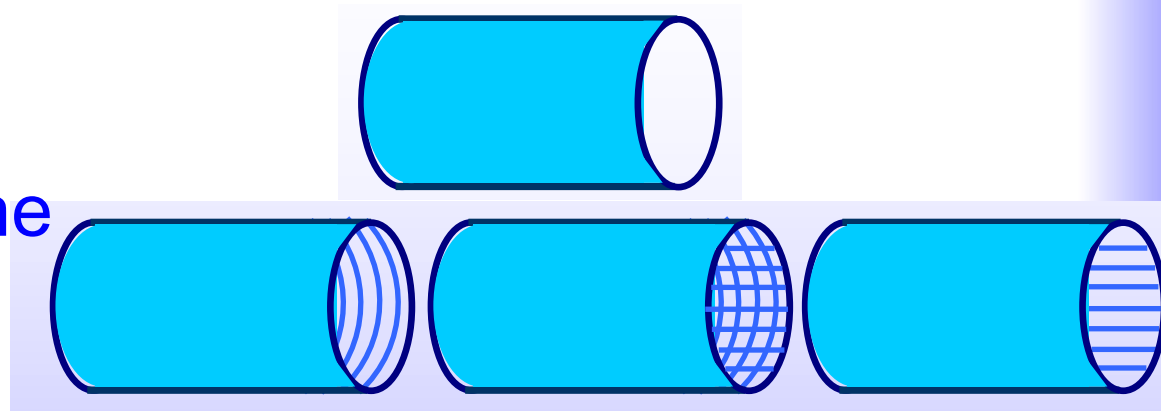
- Accesso alle componenti per installazione o controllo
 - Struttura simmetrica, disegno modulare
- Lanciatore
 - Componenti massive vicine al lanciatore
 - Componenti sensibili alle vibrazioni lontane dal lanciatore
- Componenti elettriche vicine fra loro
- Componenti sensibili contaminazione lontane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

Processi del disegno meccanico – 3

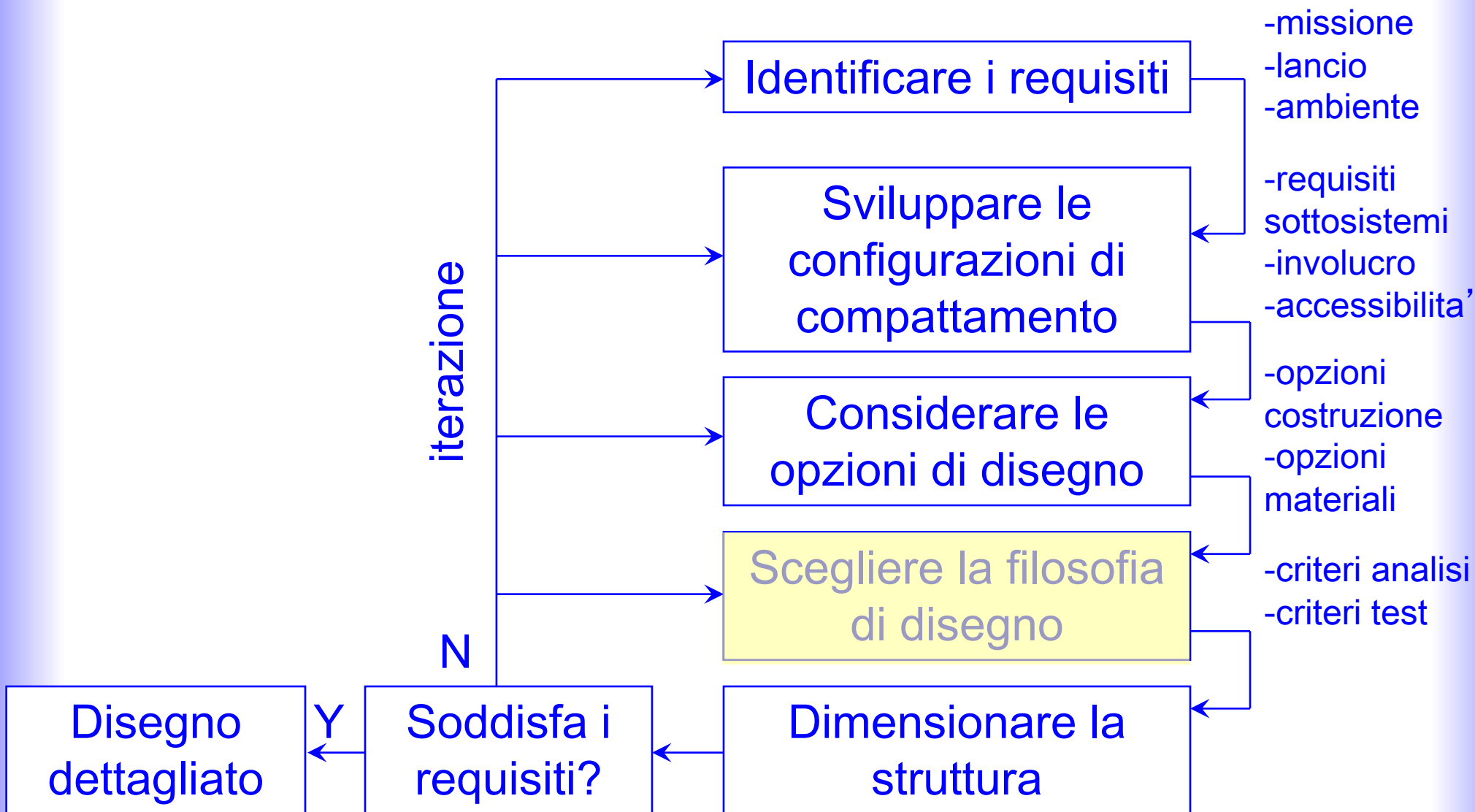


Opzioni di Disegno

- **Struttura primaria**
 - Cilindro
- **Modalita' di costruzione**
 - Tipo di cilindro
- **Materiali tipici**
 - Leghe di alluminio
- **Interfacce**
 - Rivetti vs viti et al.
- **Involucri e accessi**
 - 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...

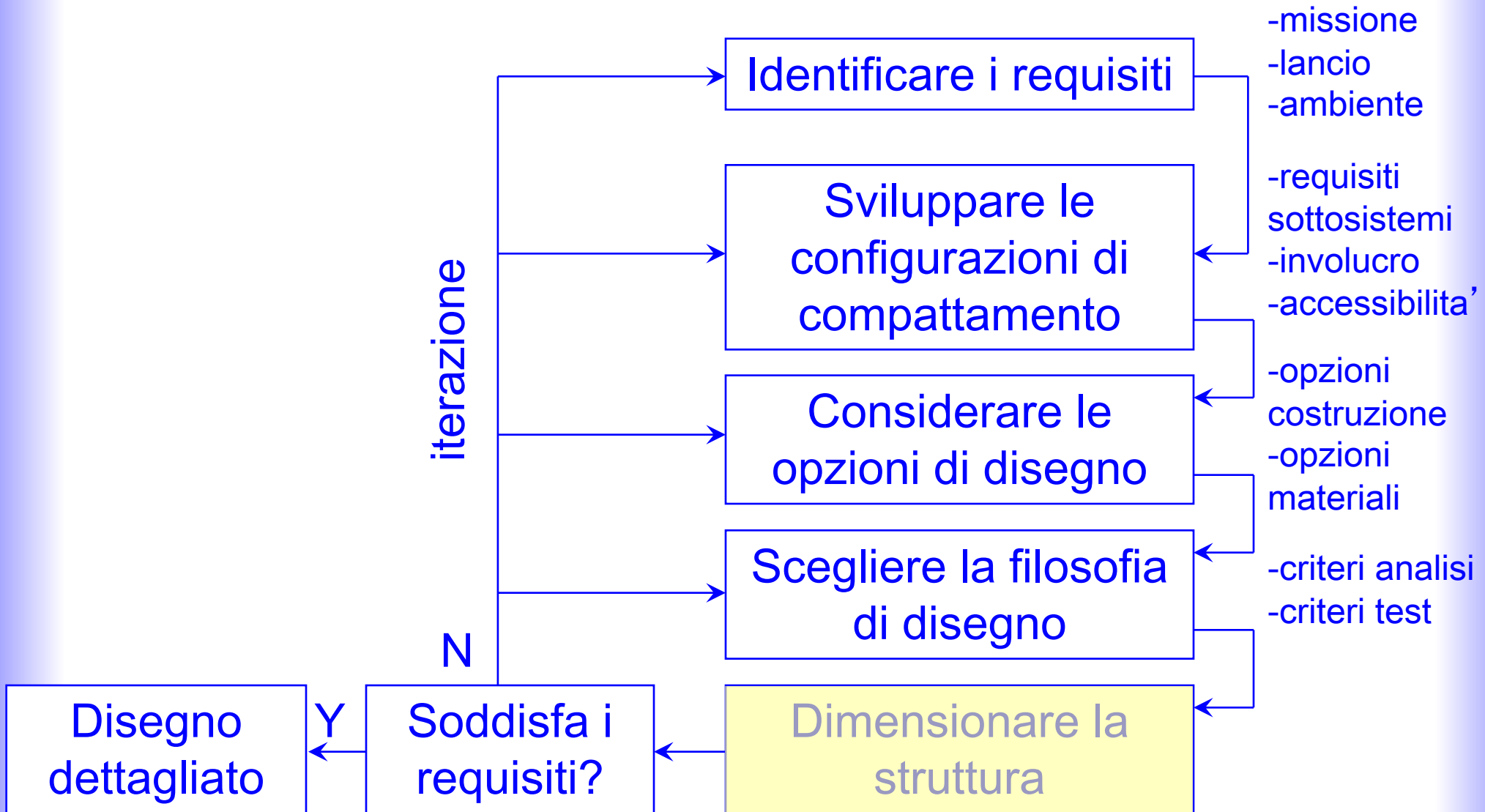
Filosofia di Disegno: criteri da seguire

Modelli / Test
(solidità)

- Fattori di carico ℓ (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, σ_a (materiale)
Margine di sicurezza $MS= \sigma_a/\sigma^*-1=P_a/P^*-1$

Rischio calcolato, ma non nullo !!!

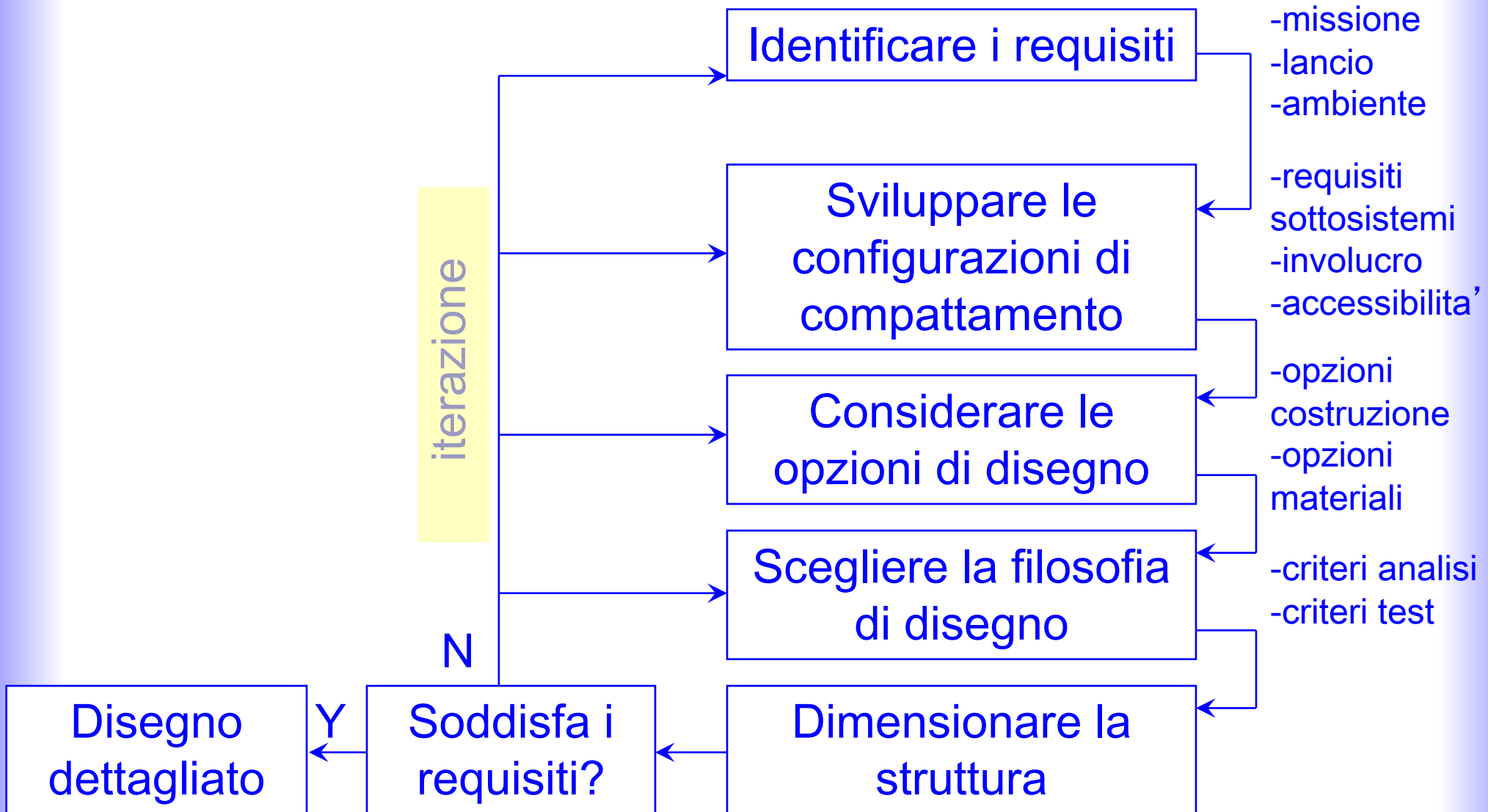
Processi del disegno meccanico – 5



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...

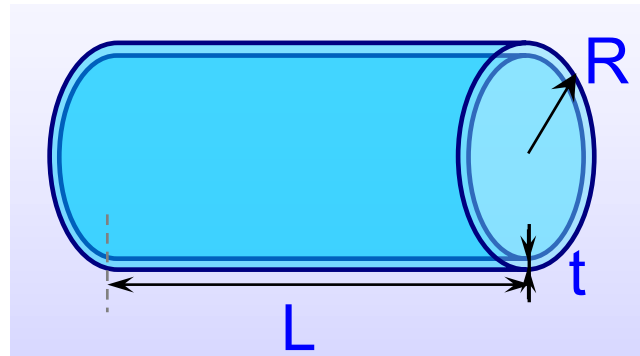
- Rigidità
 - Misura del carico (=spettro frequenze vibrazione) che causa una distorsione
- Solidità
 - Quantità di carico che la struttura può sopportare
- Stabilità di posizionamento
 - Capacità di mantenere posizione e/o orientamento entro certi limiti
- ...

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)

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

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

➤ 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)

carico assiale

carico laterale

momento di torsione

$$\begin{aligned} \text{➤ } P_{eq} &= P_{axial} + P_{lat} = \\ &= m_b g \ell_{ax} + 2M/R = \\ &= m_b g \ell_{ax} + m_b g \ell_{lat} L/R \end{aligned}$$

➤ $P_{ult} = USF P_{eq}$

➤ $\sigma_{ult} = P_{ult} / A = P_{ult} / (2\pi R t) < \sigma_{ult, mat}$

(da comparare con lo stress “*ultimate*” $\sigma_{ult, mat}$, caratteristico del materiale)

➤ Definito lo spessore t , aggiorno P_{ult} e σ_{ult} :

$$MS = \text{“stress ultimate materiale”} / \text{“ultimate stress”} - 1$$

Dimensionamento 3/3

➤ Stabilità (compressione)

➤ stress accettabile: σ_{cr}

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

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

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

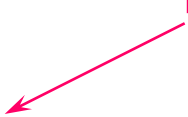
➤ carico accettabile: P_{cr}

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

➤ margine di sicurezza: MS

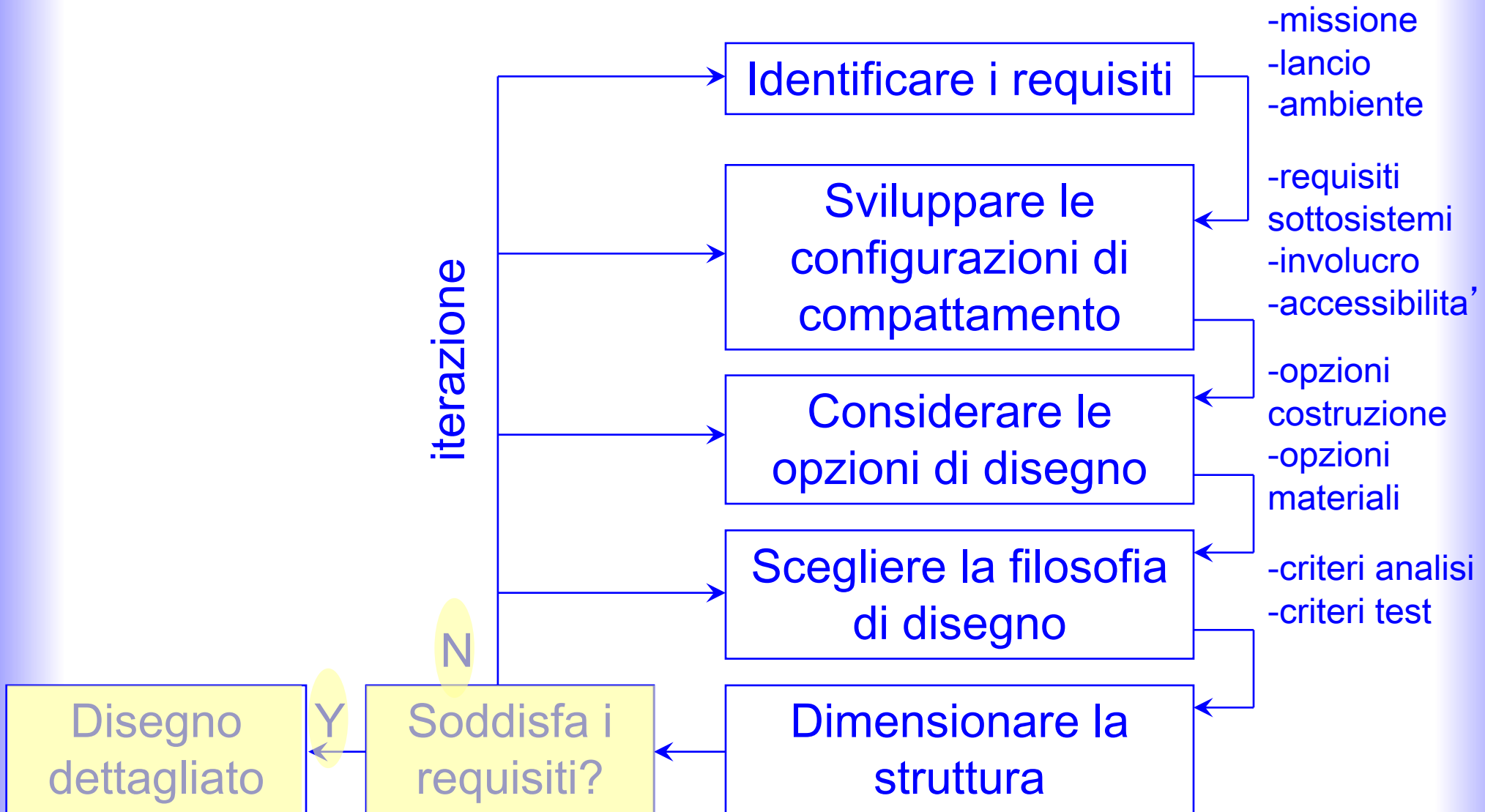
$$MS = \text{“carico accettabile”} / \text{“carico ultimate applicato”} - 1 > 0$$

P_{ult}



Conclusione: 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

➤ $t=0.089 \text{ cm}$

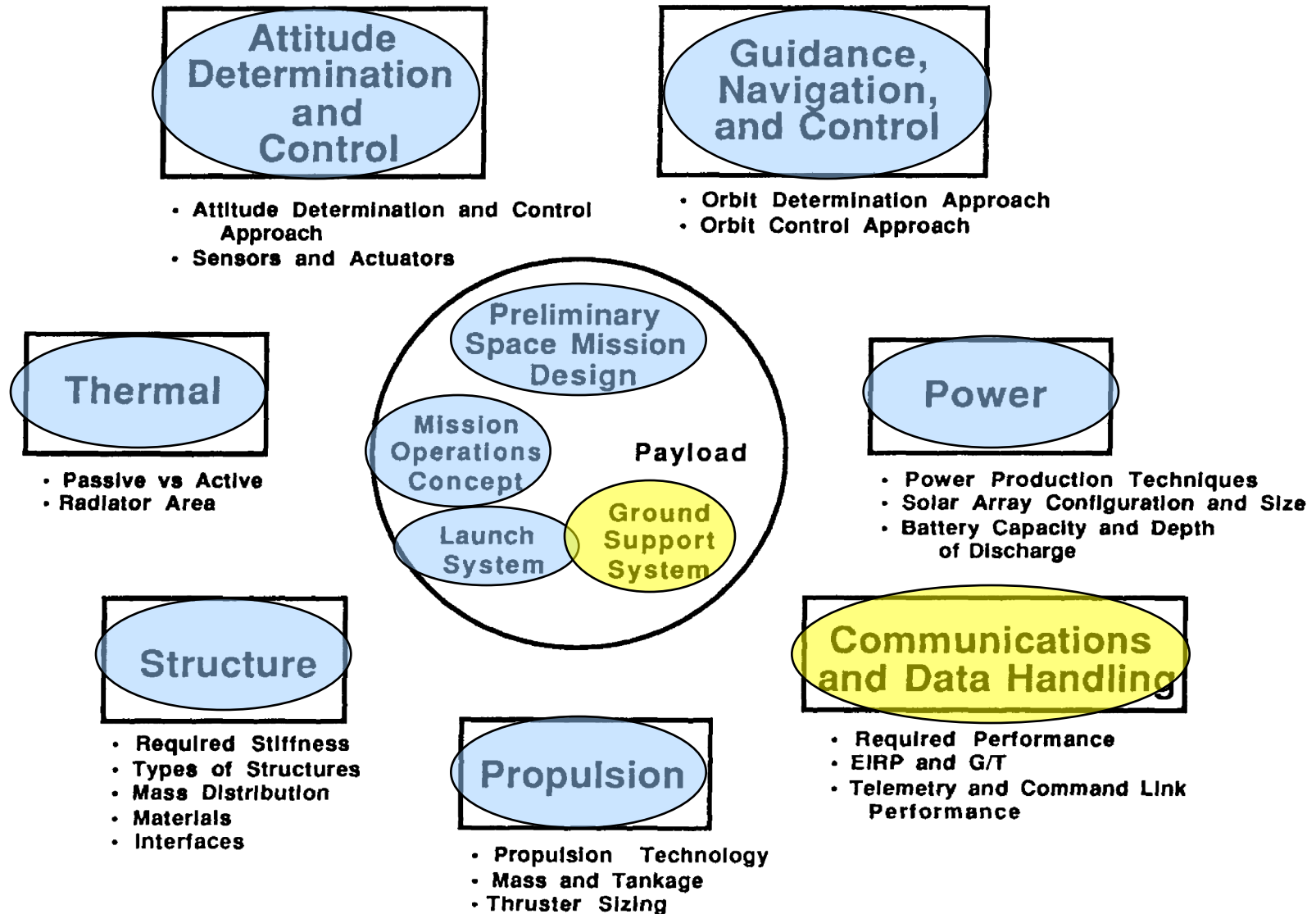
} dimensionamento

Esercizio

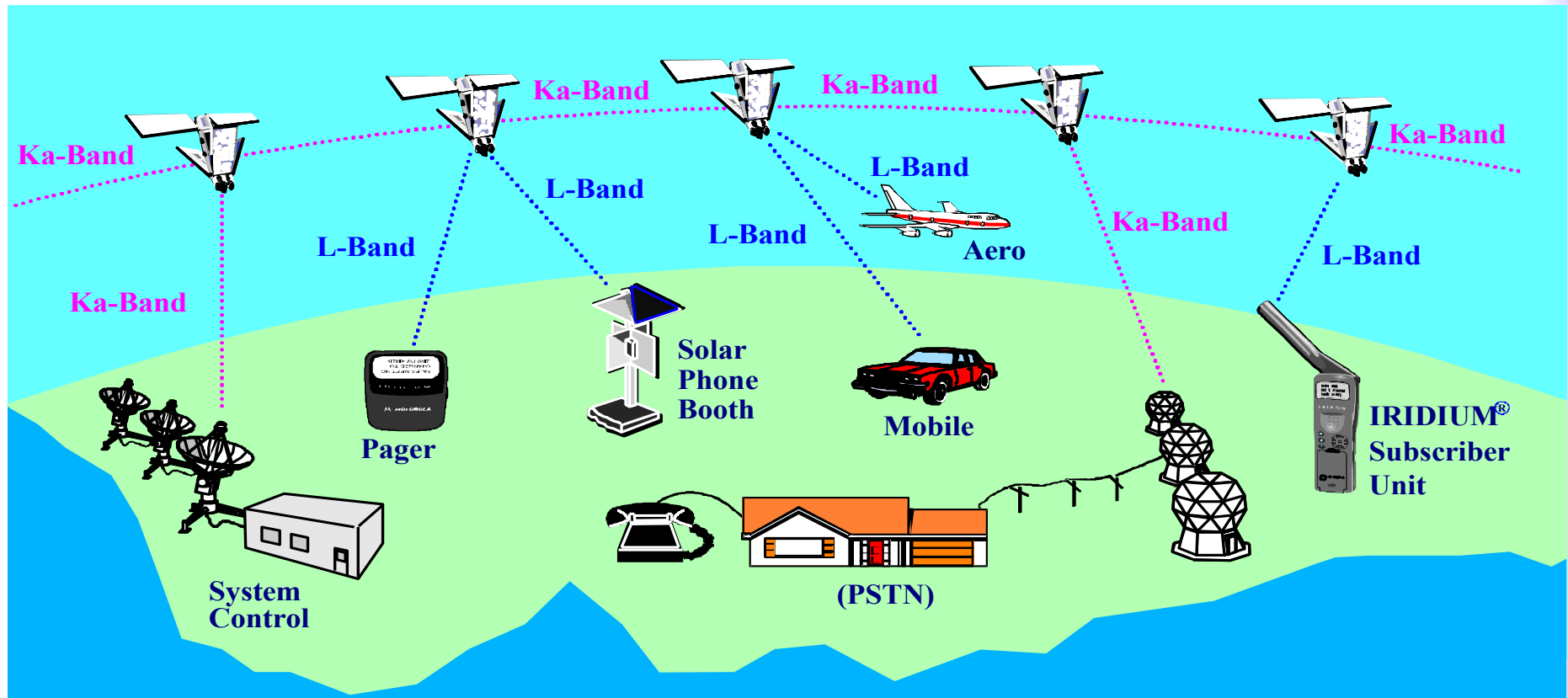
- $f_{ax, nat} > 15 \text{ Hz}$; $f_{lat, nat} > 35 \text{ Hz}$ } lanciatore
 - $\ell_{ax}=6$, $\ell_{lat}=2$
 - Cilindro, $L=4 \text{ m}$, $R=1.3 \text{ m}$, $m_b=2089 \text{ kg}$ } opzione costruzione
(mech. structure 250 kg)
 - Alluminio 7075: } opzione materiale
 $E=71 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$,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



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

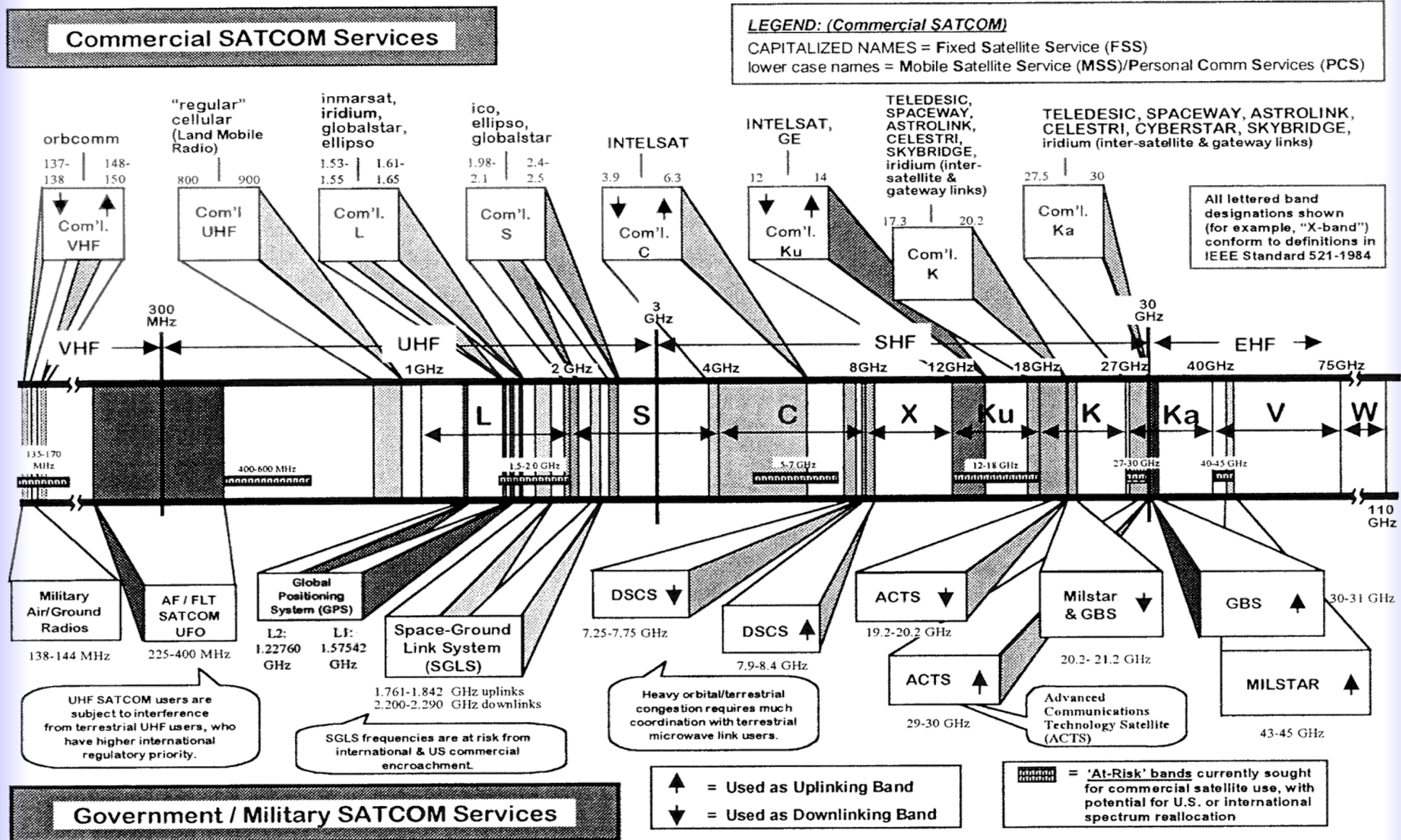
- Signal Modulation Type

- 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:

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

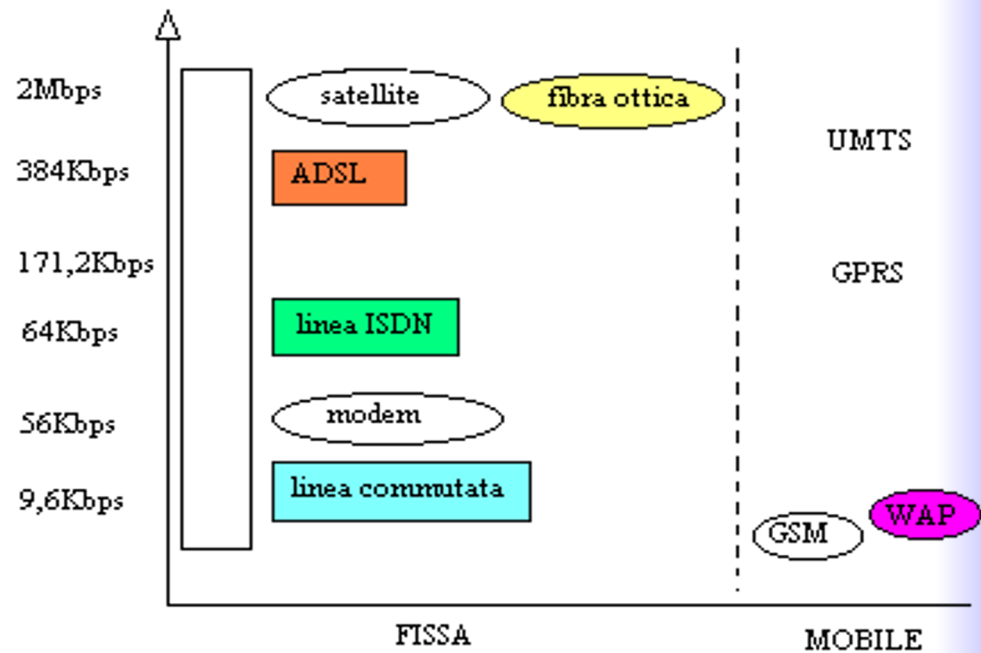
8 bit/campione

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

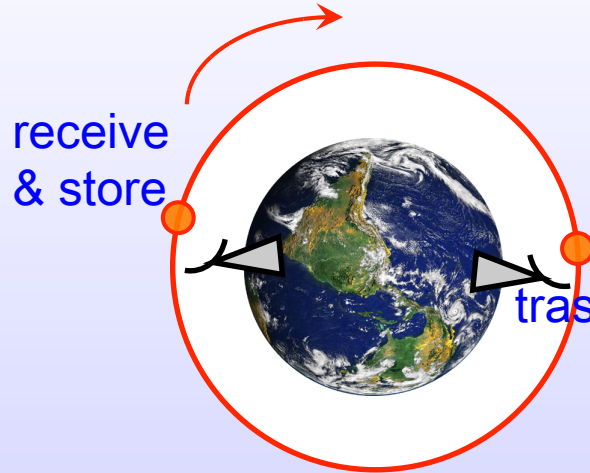
Teorema del campionamento:

un segnale analogico con f_{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

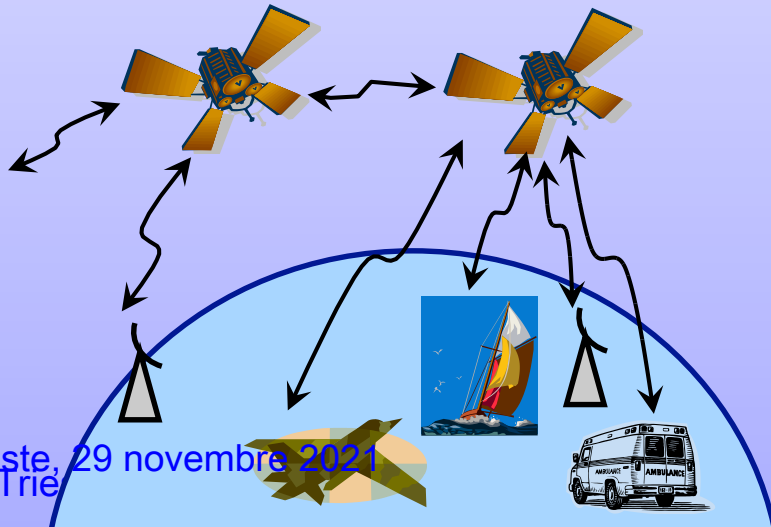


geostationary

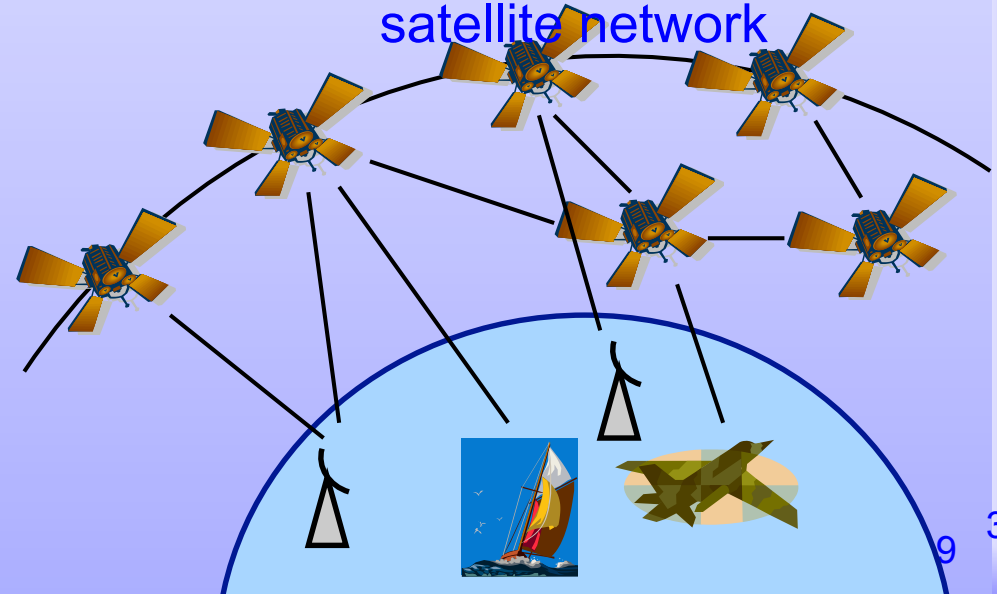


Molniya

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



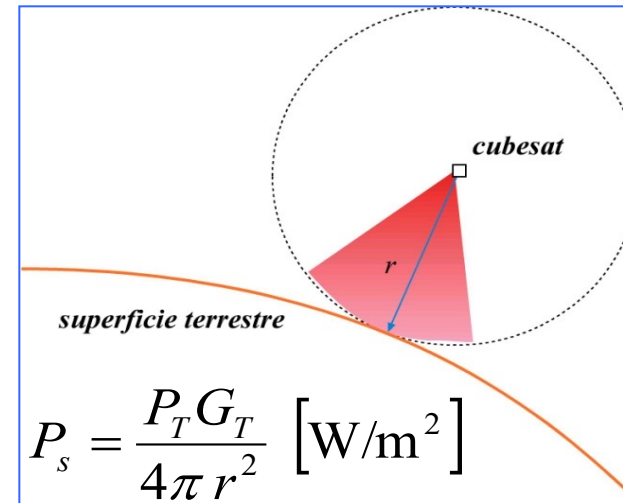
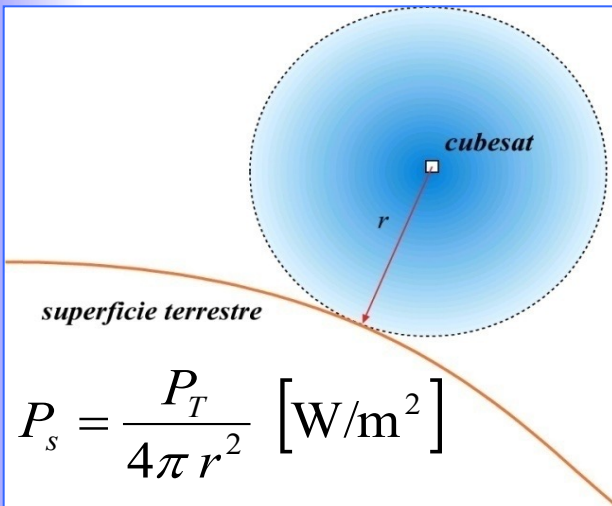
Un po' di teoria...

Trasmissione:

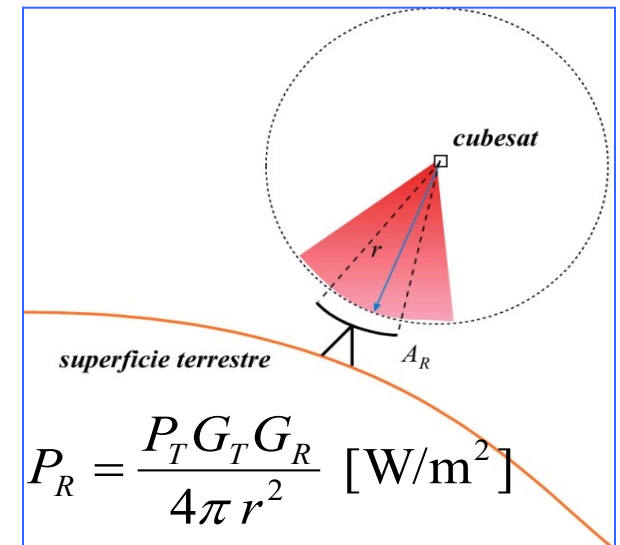
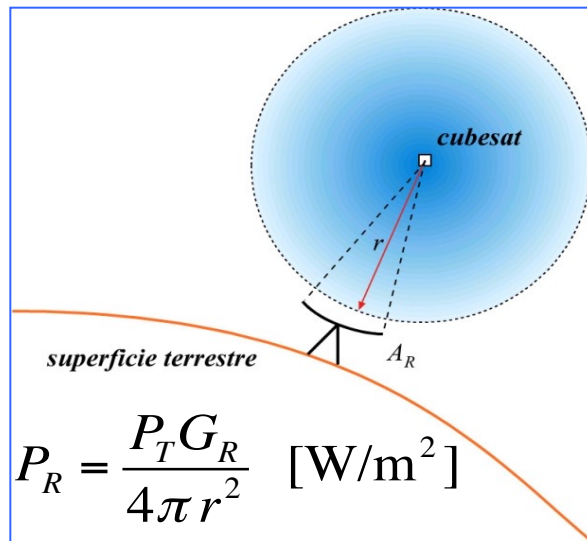
(esempio downlink)

Antenna
isotropa

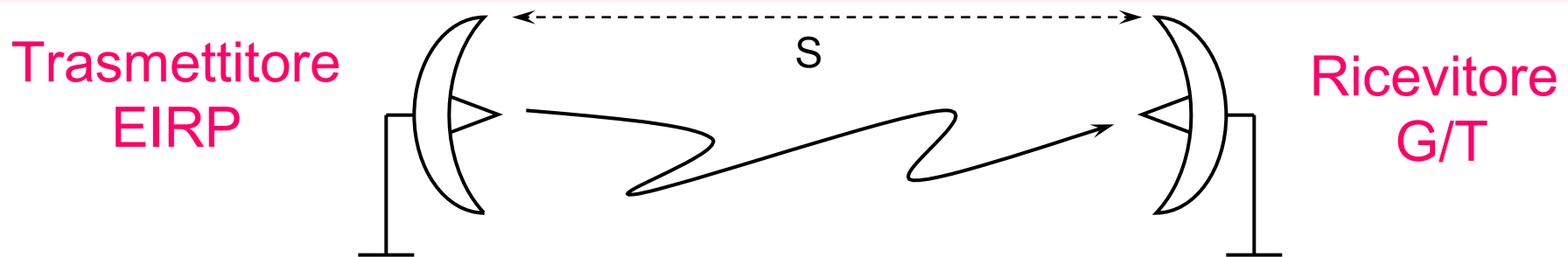
Antenna
direttiva



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

$= 10 \text{ Log}()$

➤ Trasmettitore: 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

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

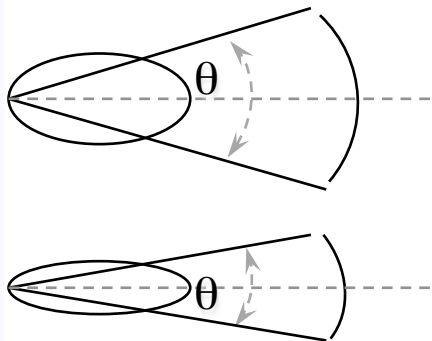
$\Rightarrow G \cong \eta (21\pi 10^9 / c\theta)^2$

➤ Half power width alla frequenza f (GHz): θ

➤ $\theta = 21 / fD$ (gradi) $\Leftrightarrow D = 21 / f\theta$ [m]

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

➤ $L_\theta = -12 (e/\theta)^2$ dB



coverage area →

figure of merit →

		antenna 1	antenna 2
f	(GHz)	0.500	
λ	(m)	0.600	
η		0.58	
L_t		0.8	
P	(W)	25	1
θ	(gradi)	75	15
D	(m)	0.560	2.800
G_t		5	125
EIRP (PL_tG_t)		100	100

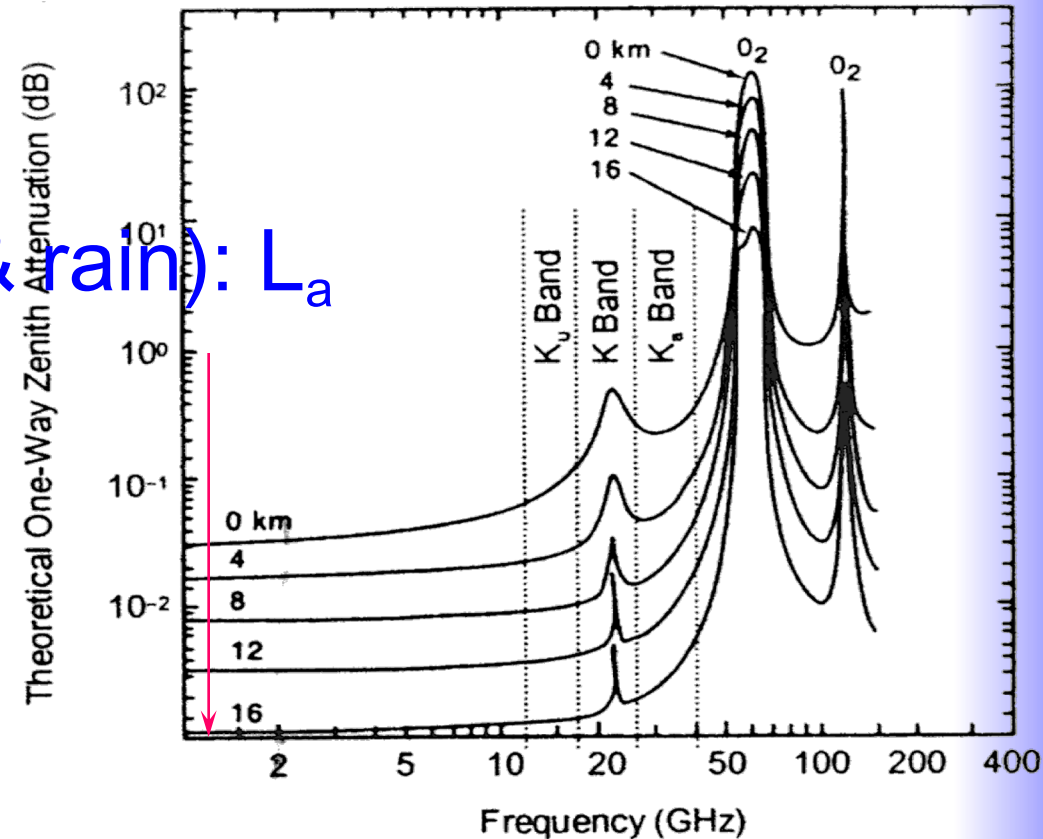
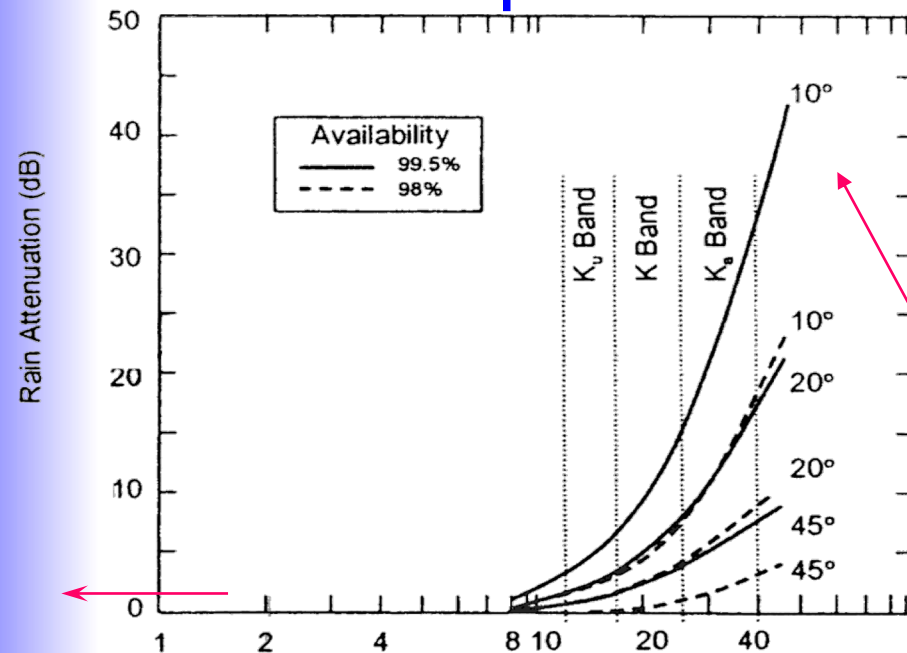
Perdite

➤ Space loss: L_s

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

➤ Path loss (atmospheric & rain): L_a

➤ Noise Temperature: T_s



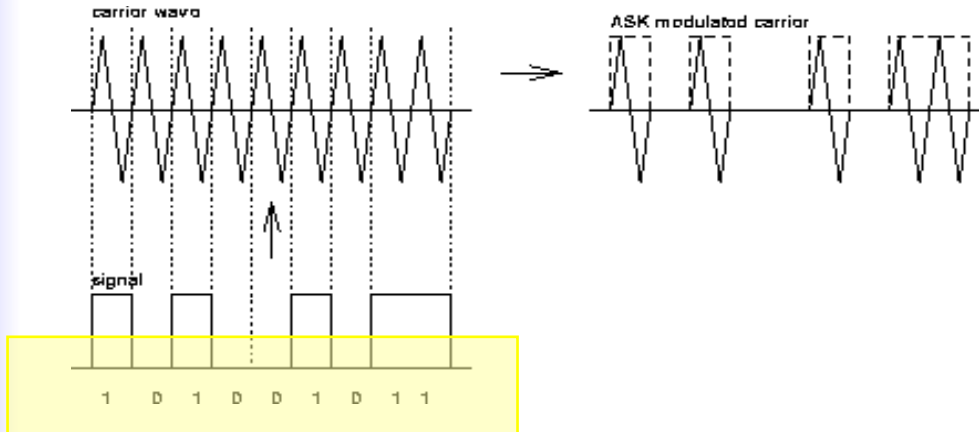
elevation angle

	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

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

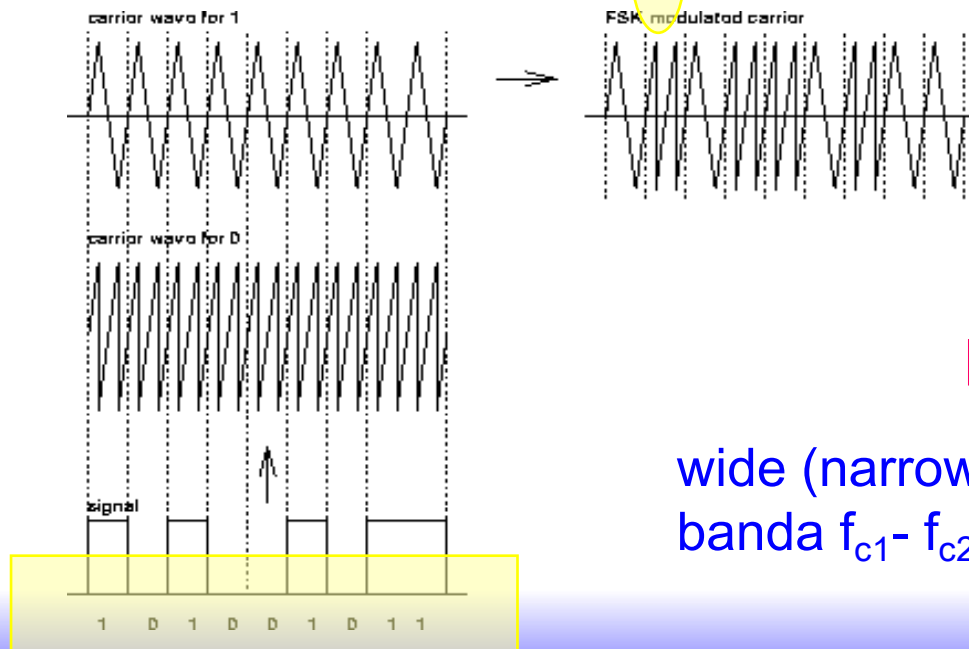


ASK

larghezza di banda
inalterata

Frequency Shift Keying

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

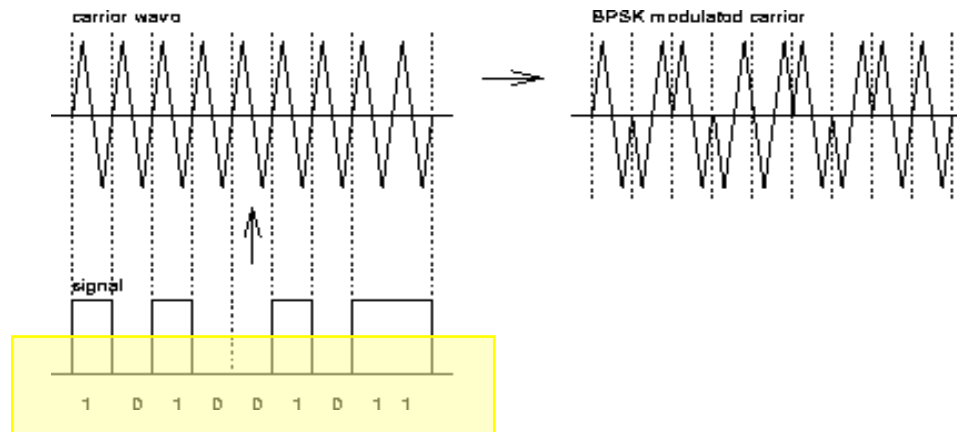


FSK

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
 $\pi/2$
 π
← π $3\pi/2$

PSK

BPSK

QPSK

MPSK

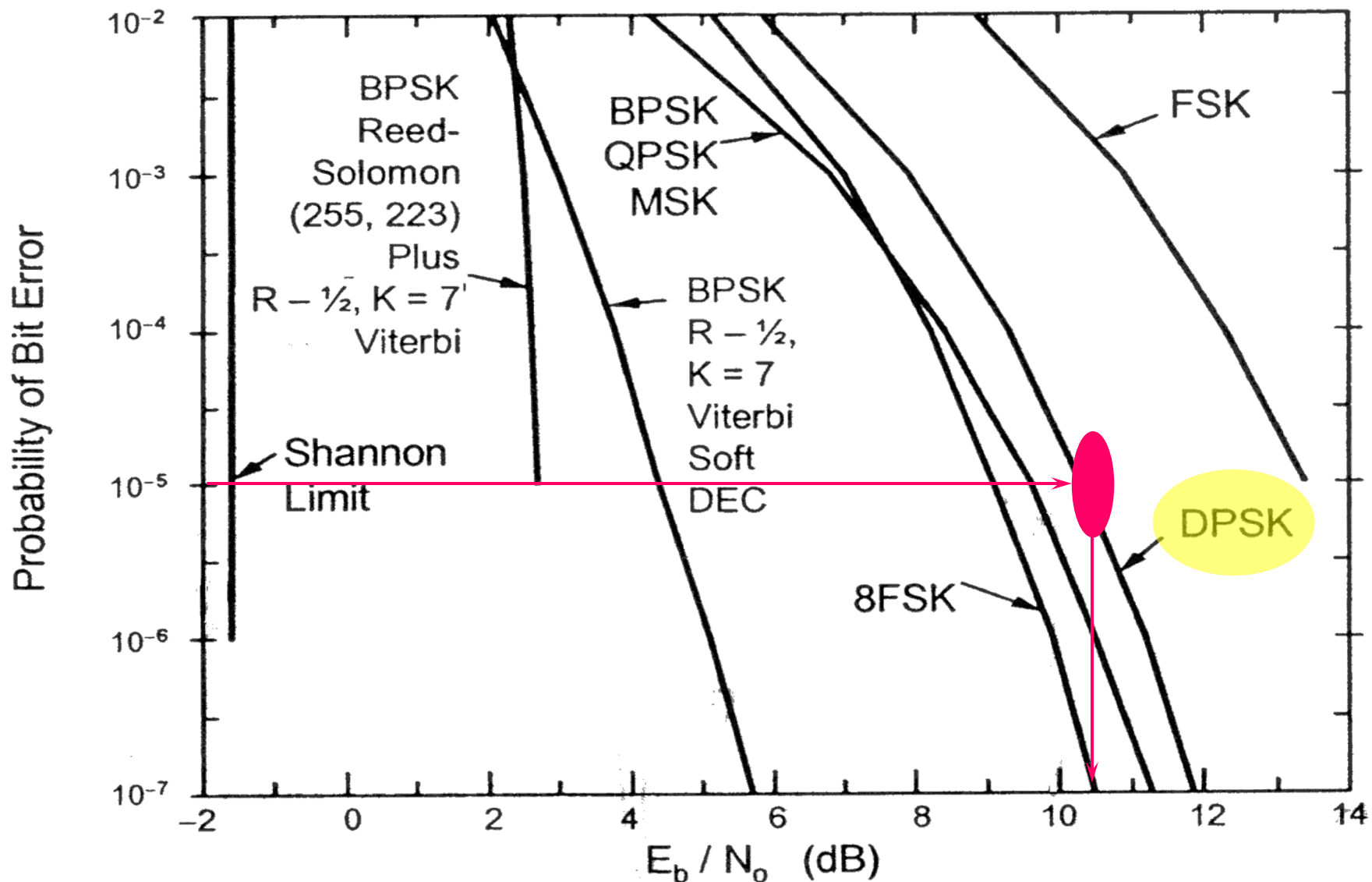
M fasi: $2\pi m/M$
 $m=0,1,\dots M-1$

Signaling rate: numero di volte in cui cambia il parametro del segnale (A, f, ϕ). Misura: baud

ASK, FSK, PSK: bit rate = signaling rate

QPSK, MPSK: bit rate > signaling rate

Modulazione 4/4



Esempio

➤ Downlink analysis

- $f=2.2$ GHz, $R=17$ Mbps, bit err rate= 10^{-5}
- Trasmitter: $P=13$ dB, $L_l=-1$ dB, $G_t=1.4$ dB, $e_t=70^\circ$
- $L_s=-\dots$ dB ($h=1000$ km), $L_a=-0.5$ dB
- Receiver: $G_r=39.1$ dB, $e_r=0.2^\circ$, $T_s=135$ K
- $\eta=0.55$
- 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
Pointin error	0.04 deg
Noise Temperature	135 K
Increase Noise due to rain	174.55 K

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