



Il trasporto spaziale: Il dimensionamento del bus

Ogni missione ha dei requisiti specifici (orbita, durata, peso da imbarcare, precisione di assetto, ecc.) che devono essere tenuti in considerazione quando si progetta il bus, il satellite che ospiterà e supporterà gli strumenti durante la missione.

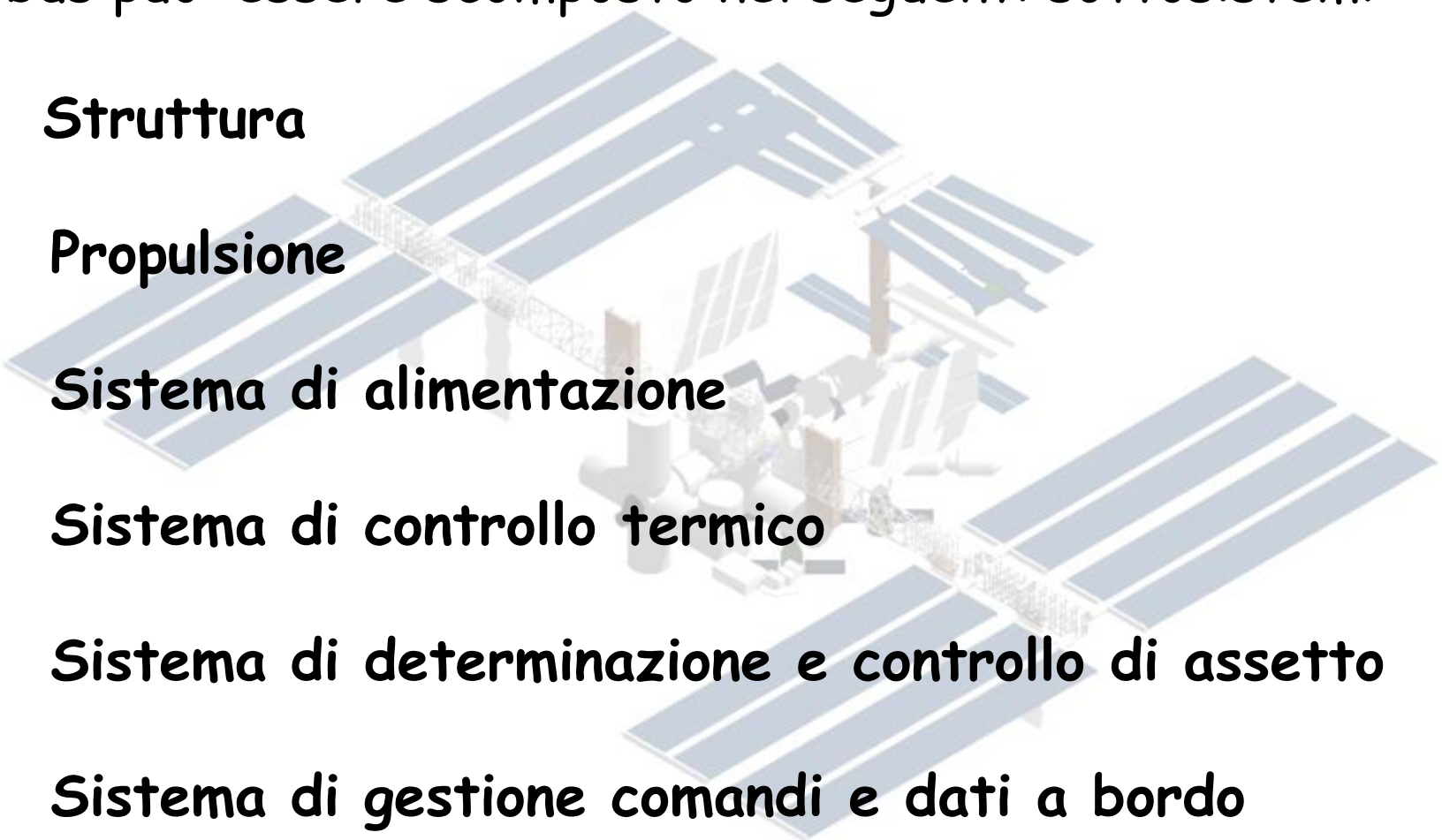
I requisiti per il Bus:

- vengono sviluppati in parallelo a quelli degli strumenti dalla fase A
- sono il compromesso tra le possibilità operative e le necessità degli sperimentatori
- sono alla base del successo della missione

Il bus deve essere dimensionato in modo da:

- trasportare e proteggere gli strumenti
- portare gli strumenti nell'orbita corretta
- alimentare gli strumenti
- controllare la temperatura
- assicurare il puntamento ed controllare l'assetto
- acquisire e conservare i dati
- gestire telemetria e telecomandi

Il bus può essere scomposto nei seguenti sottosistemi:

1. **Struttura**
 2. **Propulsione**
 3. **Sistema di alimentazione**
 4. **Sistema di controllo termico**
 5. **Sistema di determinazione e controllo di assetto**
 6. **Sistema di gestione comandi e dati a bordo**
 7. **Sistema di comunicazione**
- 
- A 3D exploded view of a satellite bus, showing various components like solar panels, antennas, and structural elements separated from the main body to illustrate the different subsystems.

1. Struttura

La struttura protegge passivamente il satellite al lancio, durante la missione e nelle fasi di deploying.

Le strutture si dividono in:

- primarie (corpo centrale, launch adapter)
- secondarie (platforms, booms, antenne)
- terziarie (brackets, scatole dell'elettronica)

I moderni design hanno dei parametri standard per la progettazione delle strutture:

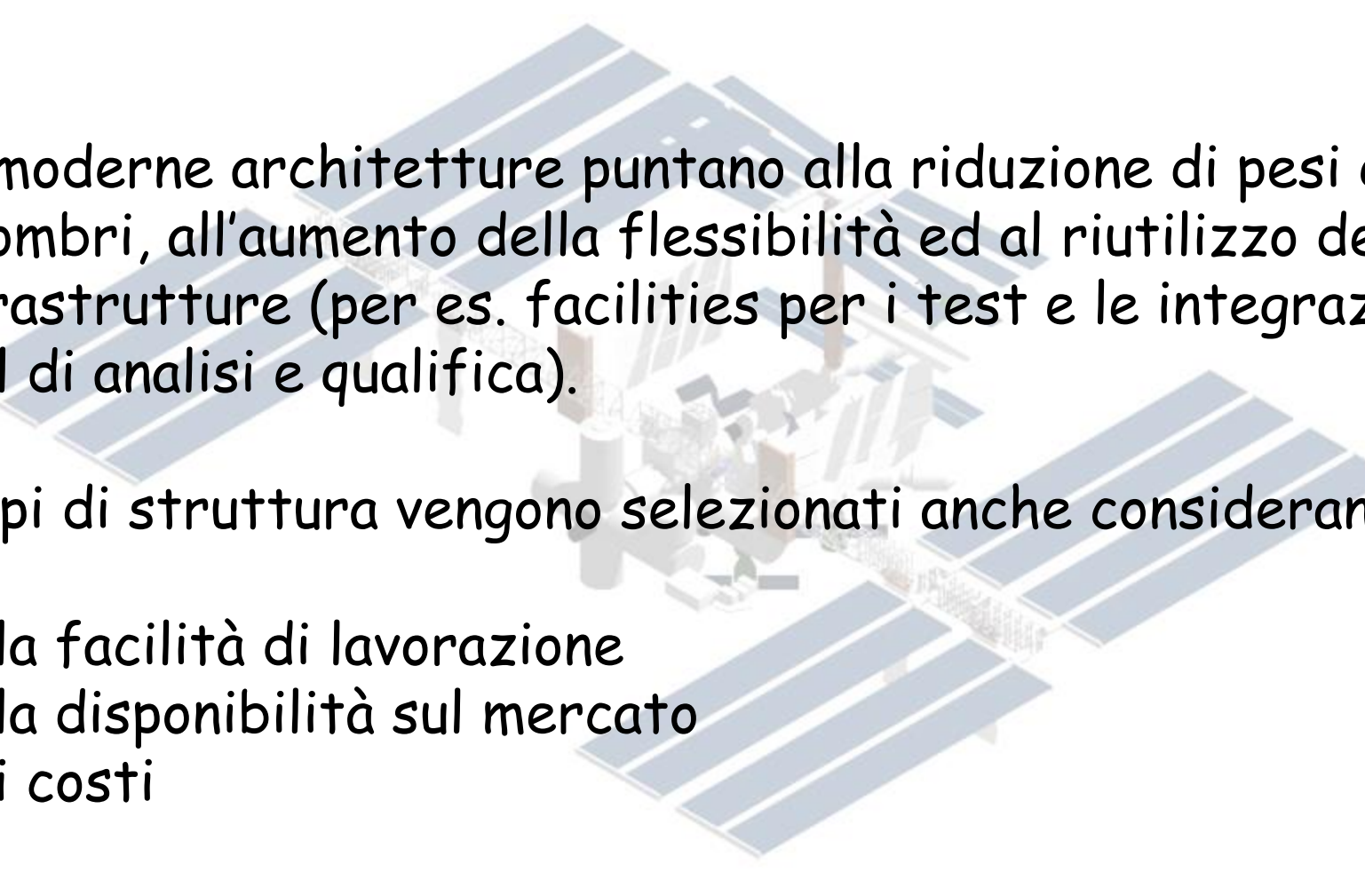
- massima simmetria
- modularità
- minimo cabling
- max possibilità di accesso per installazione/manutenzione
- comp. shock sensitive lontane dai launch i/f
- comp. sensibili alla contaminazione lontane dai thrusters
- propellente più vicino possibile al baricentro

Sono inoltre sempre più precisi e raffinati i meccanismi automatici e robotici (meccanici, idraulici e/o elettronici)

1. Struttura

Una struttura è caratterizzata da una serie di parametri:

- la rigidità
- lo spessore
- la densità di massa
- l'elasticità
- la resistenza
- La refrattarietà
- l'outgassing
- la risposta strutturale
- la frequenza di vibrazione
- le proprietà elettriche e termiche



Le moderne architetture puntano alla riduzione di pesi ed ingombri, all'aumento della flessibilità ed al riutilizzo delle infrastrutture (per es. facilities per i test e le integrazioni, tool di analisi e qualifica).

I tipi di struttura vengono selezionati anche considerando:

- la facilità di lavorazione
- la disponibilità sul mercato
- i costi

Tra i materiali utilizzabili per le strutture possiamo distinguere:

- Materiali metallici
- Materiali ceramici
- Materiali polimerici (organici o inorganici)

Materiali metallici

- leghe di alluminio o di titanio per la produzione di componenti complessi e di grande dimensione
- problema della giunzione tra componenti metallici
- compositi a matrice metallica

Alluminio - resistente, duttile, facile da lavorare ma con un coeff. di espansione termica alto

Acciaio - molto resistente, min outgassing ma molto denso, magnetico e duro da lavorare

Magnesio - bassa densità, molto stabile ma si corrode facilmente, non può essere utilizzato su grandi volumi

Titanio - molto resistente, coeff. di espansione termica basso ma durissimo da lavorare e costoso

Berillio - molto rigido e resistente ma poco duttile e tossico

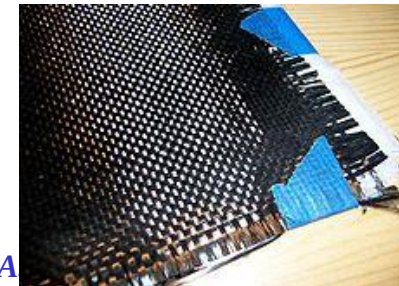
Materiali ceramici

Questi materiali sono contraddistinti da qualità che li rendono unici per alcune applicazioni in ambienti estremi (p.es. superfici di controllo per veicoli di rientro):

- punti di fusione elevatissimi
- alta durezza
- elevata conduttività termica ed elettrica
- buona resistenza all'ossidazione
- resistenza meccanica ad alta temperatura



- **fibra di carbonio** :struttura filiforme, molto sottile, alta resistenza meccanica, bassa densità, la capacità di isolamento termico, resistenza a variazioni di temperatura e all'effetto di agenti chimici, buone proprietà ignifughe
- **materiali compositi** :le fibre di carbonio e una cosiddetta matrice,(resina,plastica o in metallo) la cui funzione è quella di tenere in "posa" le fibre resistenti (affinché mantengano la corretta orientazione nell'assorbire gli sforzi), di proteggere le fibre ed inoltre di mantenere la forma del manufatto composito.
- **Strutture polimeriche**



Per le architetture future si comincia a valutare (ASI e NASA) il possibile utilizzo di strutture alternative costituite da materiali leggerissimi ma molto resistenti e riconfigurabili nello spazio:

- TRANSHAB
- Strutture pneumatiche per utilizzo spaziale



2. Propulsione

Tutti i sistemi di propulsione lavorano sullo scambio di momento.

Il momento totale si conserva: $\Delta P = m_{prop} c_{emiss}$

Per un rocket ideale : $(m - dm) d\vec{v} = -dm\vec{c} \rightarrow \rightarrow \rightarrow \frac{m_f}{m_i} = e^{\frac{\Delta v}{c}}$

Con dm - massa di propellente

c - velocità di emissione del propellente

>>> La propulsione è determinata dalla quantità di propellente utilizzato e dalla velocità di espulsione

I motori dei razzi sono molto semplici e si basano su due

parametri: **Spinta** $F = m_{prop} c$

ed **Impulso** $I = \frac{\Delta P}{m_{prop}}$

Funzionano con propulsione:

- Chimica (solida, liquida o ibrida)
- Elettrica
- Gas freddo

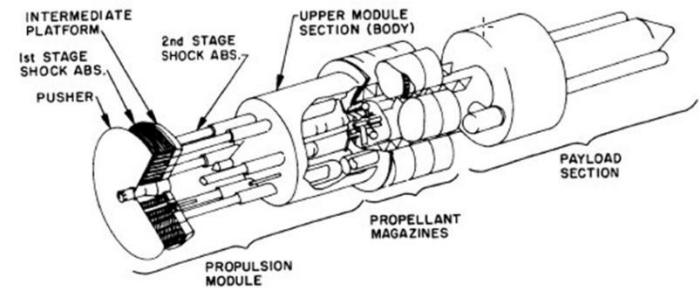


Fig. 2.1-- Typical nuclear-pulse vehicle

2. Propulsione(3/5) - propellenti chimici

Propellenti solidi - la spinta dipende dalla quantità e quindi dalla capacità dei serbatoi (caricamento a cartucce) e non può essere bloccata una volta innescata .

Composti da miscele di perclorati, alluminio in polvere, polimeri, perossidi

Propellenti liquidi- oltre alla quantità gioca la velocità di combustione (combustibile e ossidante si miscelano in una camera a scoppio), si può bloccare il processo di propulsione tipicamente H_2 e O_2

Ibridi - i più nuovi sono "ecologici", a base di paraffina (Univ. Stanford)

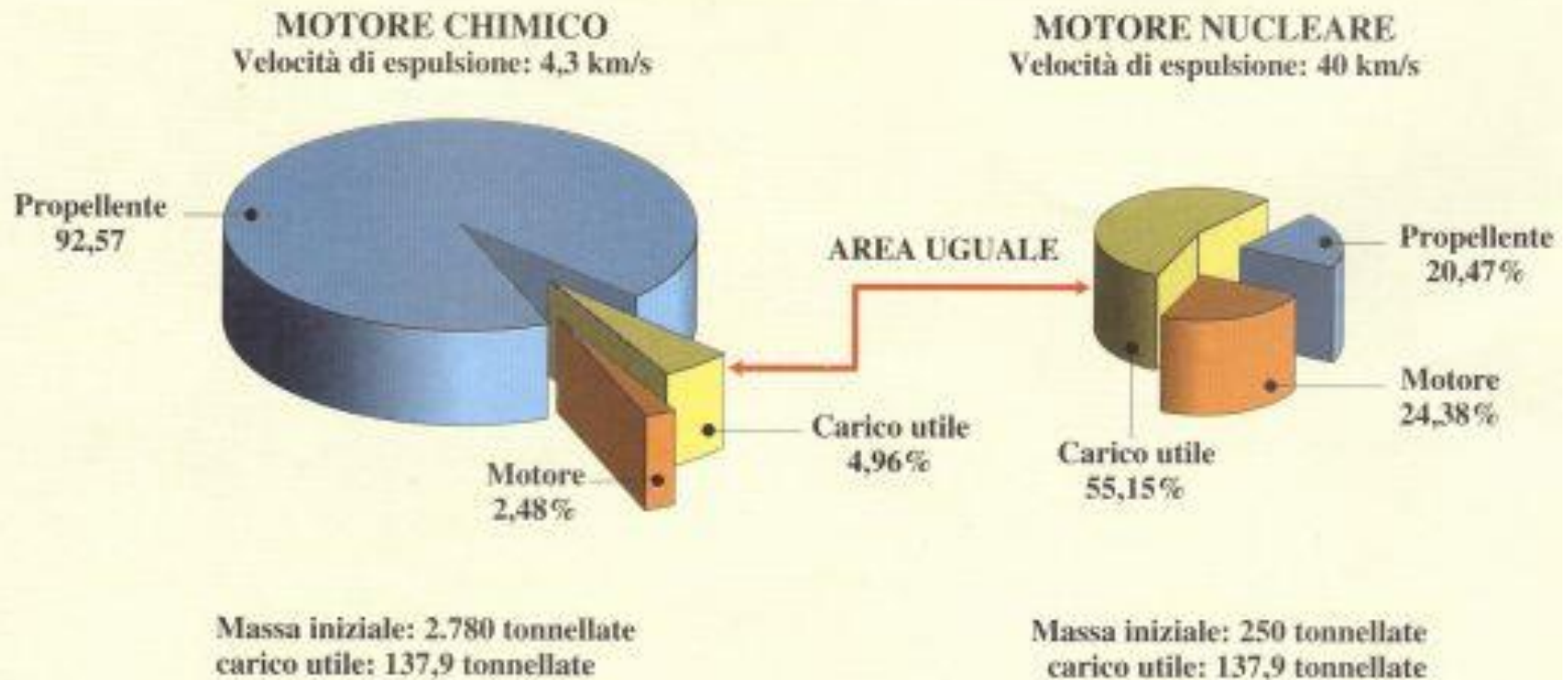
I propellenti chimici sono semplici, affidabili, poco costosi, compatti, ad alto rendimento, veloci nella risposta

Risultano però poco flessibili, pericolosi (storage), difficili da testare



Propellant containers are designed for the transportation of flight propellants, including Hydrazine (N_2H_4), Monomethylhydrazine (MMH) and Nitrogen tetroxide (N_2O_4). Transportation is conducted in accordance with international regulations RID/GGVE, ADR/GGVS, GGVSee. Propellants are transferred from the containers to the spacecraft under pressure using the appropriate Ground Support Equipment. We can also offer this service as a part of our launch support services.

MOTORE CHIMICO E MOTORE NUCLEARE A CONFRONTO



La propulsione elettrica comporta l'introduzione di sistemi molto pesanti a bordo ed è a basso rendimento ma consente un utilizzo puntuale e controllato dell'energia in termini di impulso specifico e potenza. Il suo utilizzo dipende dalla potenza disponibile a bordo

La propulsione a gas freddo è facile da introdurre a bordo (contenitori a pressione), è perfetta per le piccole manovre in orbita, il suo utilizzo è limitato dalla quantità di gas che si può imbarcare.



SMART-1 è la prima di una serie di missioni (**Small Missions for Advanced Research in Technology**) dell'ESA, che prevede il lancio di piccoli satelliti dedicati a verifiche tecnologiche, in vista delle future cornerstone mission dell'Agenzia. SMART-1 ha avuto il compito di **collaudare definitivamente la propulsione elettrica** come metodo propulsivo primario di un satellite ed un obiettivo scientifico: **lo studio della Luna.**

3.12.2006- Alle prime ore del mattino, la sonda SMART-1 ha impattato il suolo della Luna nella regione denominata 'Lago dell'eccellenza'. L'impatto, accuratamente pianificato, ha concluso una missione di successo che, oltre a mettere alla prova tecnologie spaziali innovative, ha permesso un'attenta esplorazione scientifica della Luna della durata di circa un anno e mezzo.

2. Propulsione(5/5)

	<u>Funzioni</u>			
<u>Tipo</u>	Lancio	Immissione in orbita	Manovre	Controllo d'assetto
Chimica	x	x	x	x
Elettrica			x	x
Gas (cold)			x	x

3. Sistema di alimentazione

Il sottosistema di potenza garantisce l'alimentazione del satellite e degli strumenti scientifici avvalendosi di:

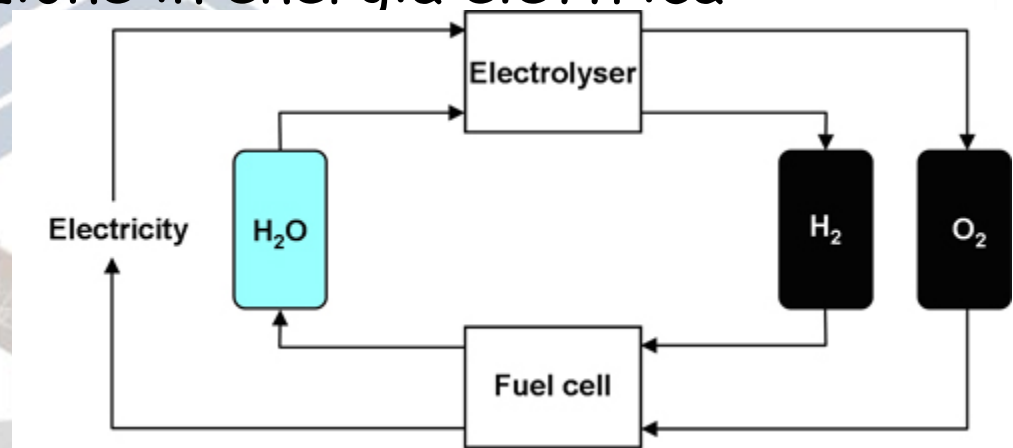
1. Pannelli solari
2. Fuel cells
3. Batterie
4. Sorgenti statiche di potenza
5. Sorgenti dinamiche di potenza

I pannelli solari sono sistemi che convertono l'energia della radiazione solare in energia elettrica.

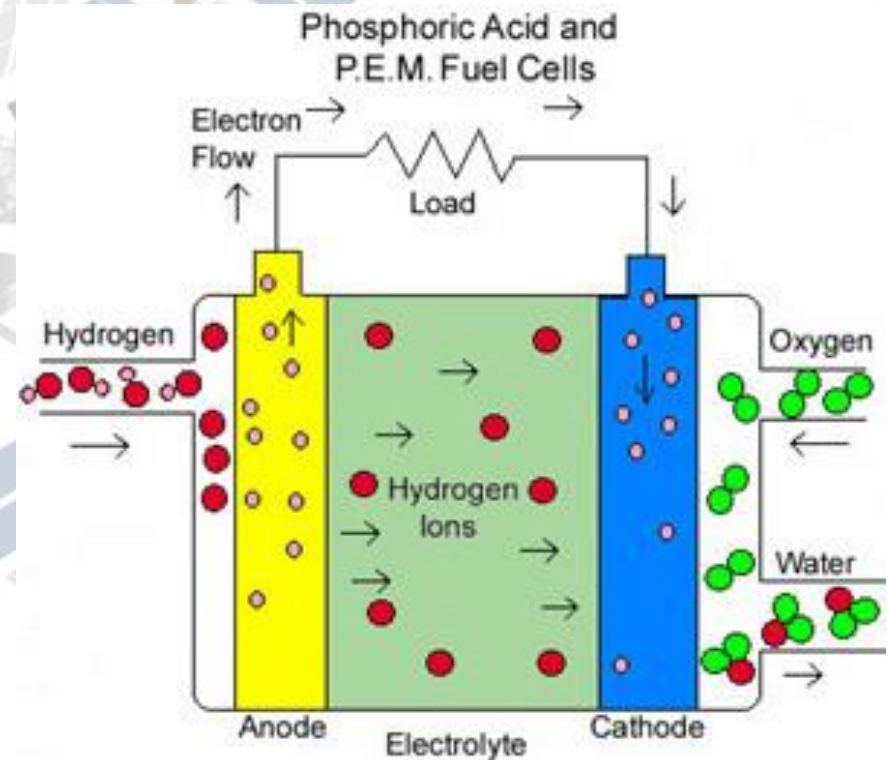
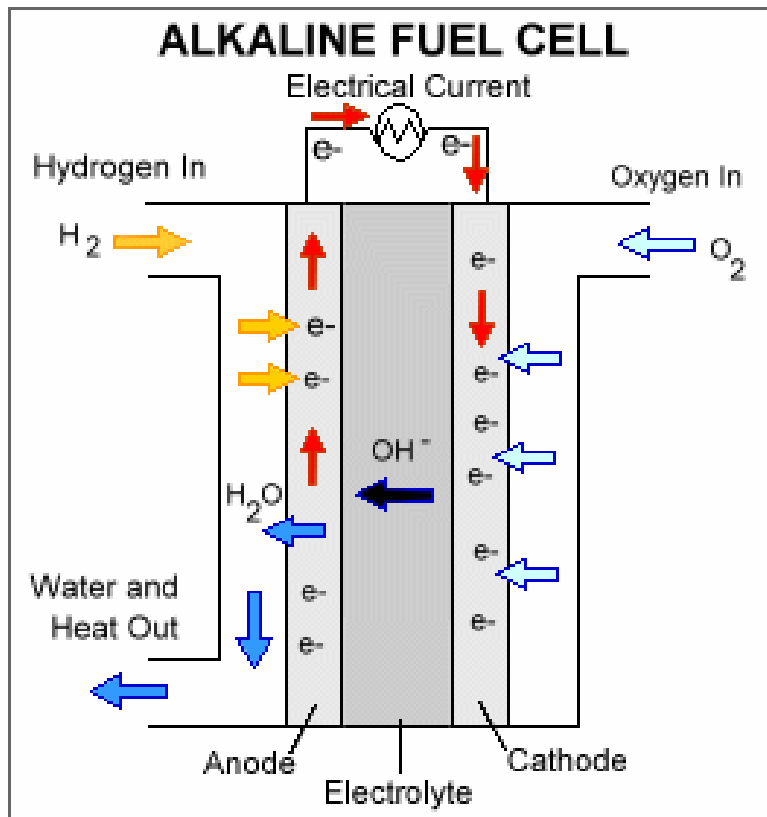


- sono collegati ad un sensore di sole per massimizzare il rendimento
- generano una potenza direttamente proporzionale all'area esposta
- si degradano nel tempo a causa delle radiazioni incidenti
- molto usati nelle orbite intorno alla Terra
- sono costituiti da celle di Si o GaAs, in prova InP

Le fuel cells sono sistemi che convertono l'energia chimica di una reazione di ossidazione in energia elettrica:



- Sono generatori autoconsistenti che si montano con il reagente e vengono accesi in volo.
- una volta utilizzati non possono essere ricaricati.
- il loro utilizzo è limitato dagli spazi a disposizione e dal peso
- vengono utilizzate (in genere come back up) nelle missioni di breve durata





Le batterie sono accumulatori di energia che lavorano con cicli di carica/scarica e garantiscono la continuità dell'alimentazione del satellite (NiCd, NiH e Li).

Il limite al loro utilizzo è dato da:

- Ingombri
- Peso
- range di temperatura operativa

Le sorgenti statiche di potenza sono sistemi che convertono il calore prodotto da una sorgente in energia elettrica con meccanismi termoelettrici o termoionici .
Tipicamente si utilizzano decadimenti radioattivi (Radioisotope Thermoelectric Generator) >>>vengono utilizzati soprattutto nelle missioni interplanetarie

I reattori nucleari, note anche come sorgenti dinamiche di potenza, utilizzano una sorgente di calore e un scambio di calore per attivare un motore termodinamico che produce elettricità (efficaci ma molto costosi)

Potenza					
100MW			nucleare		
10MW	chimica				
1MW					
100KW					
10KW		solare			
1K				radioisotopi	
100W					
Tempo	1 h	1 giorno	1 mese	1 anno	10 anni

4. Sistema di controllo termico

E' il sottosistema che garantisce l'equilibrio termico del satellite.

Poiché il calore può essere trasferito solo per conduzione, convezione o irraggiamento

>>>> nel vuoto il calore viene trasferito sostanzialmente tutto attraverso le onde elettromagnetiche

$$Q = \varepsilon \sigma A T^4$$

Ogni superficie colpita da onde e.m.:

1. Le trasmette con un coefficiente τ
2. Le assorbe con un coefficiente α
3. Le riflette con un coefficiente ρ

Tali che

- per l'equilibrio termico : $\tau + \alpha + \rho = 1$

$$Q = Q_{\tau} + Q_{\alpha} + Q_{\rho}$$

Per un corpo nero $\alpha = 1$ e $\varepsilon = 1$, per una superficie reale, i coefficienti di emissività ed assorbimento variano con la lunghezza d'onda

>>>>>> utilizzo di vernici bianche

Considerato che l'Energia totale:

$$Q_{\text{assorbita}} + Q_{\text{interna}} = Q_{\text{emessa}}$$

Per un satellite in orbita intorno alla Terra:

$$Q_{\text{Sun}} + Q_{\text{albedo}} + Q_{\text{IRTerra}} + Q_{\text{interna}} = Q_{\text{emessa}} = \varepsilon \sigma T^4 A$$

Il controllo termico può essere:

- passivo : è circa l'80%, avviene attraverso radiatori per dissipare, MLI per evitare il congelamento e riflettori per minimizzare l'assorbimento
- attivo : utilizza pompe di raffreddamento e heaters (resistenze con termostato) per mantenere la strumentazione nel range di temperature di utilizzo

All'interno del satellite le temperature operative dei sottosistemi possono variare molto.

On-board PC	da -10 a $+50$ °C
Batterie	da -5 a $+25$ °C (dip. dal tipo)
Pannelli solari	da -105 a $+110$ °C
Sun and Earth sensor	da -30 a $+50$ °C
Harness interno	da -15 a 55 °C
Harness esterno	da -100 a $+100$ °C
Radiatori	da -95 a $+60$ °C
TM & TC	da -10 a $+50$ °C

5. Sistema di determinazione e controllo di assetto

E' il sottosistema che garantisce l'identificazione dell'orientamento del satellite nello spazio, la sua stabilizzazione in presenza di disturbi esterni ed il puntamento dei sistemi di bordo nella direzione desiderata nel corso della missione. Supporta il payload ed i sistemi di servizio (comunicazione, controllo termico e di potenza).



Il controllo di assetto lavora su una serie di modi operativi:

- **inserzione nell'orbita** (spin stabilization)
- **acquisizione** (stabilizzazione iniziale, power upsets, emergenza)
- **normale** (orbita predefinita)
- **slew** (riorientamento)
- **contingency** (priorità a sottosistemi di power e termico)
- **speciale** (target particolari, eclissi, intervalli di tempo determinati dalle osservazioni)

L'aumento dei modi operativi è legato alla complessità della missione ed ai costi ad essa associati

Per determinare le prestazioni di un controllo di assetto si utilizzano una serie di parametri:

- Accuracy: precisione sulla determinazione della posizione e dell'orientamento
- Range: regione nella quale si esercita il controllo (p.es. entro 30° dal Nadir)
- Jitter/Drift: max e min velocità angolari di posizionamento
- Settling time: tempo minimo per manovre e upsets

Per determinare la posizione e l'orientamento di un satellite in orbita servono 3 coordinate.

Il controllo di assetto può essere:

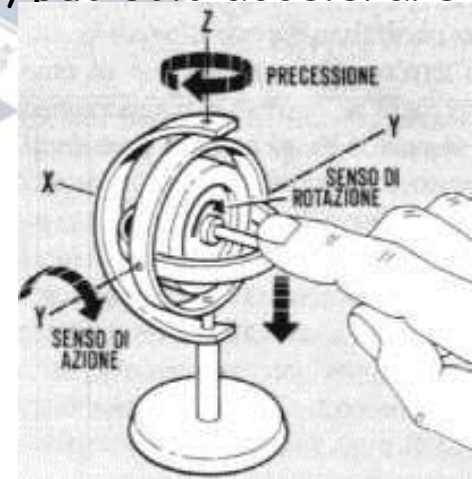
- passivo: magnetico o gravitazionale
precisione $\pm 5^\circ$
- attivo: sensori inerziali come giroscopi, ruote di inerzia e/o accelerometri, sensori solari stellari e/o di orizzonte, magnetometri, in LEO GPS precisione tra $\pm 0.001^\circ$ e 1°

La navigazione viene controllata dalle stazioni di Terra, che periodicamente correggono l'orbita, per ragioni di sicurezza:

- ad ogni passaggio sulle stazioni si acquisiscono velocità e posizione del satellite per individuare l'orbita effettiva
- attraverso una serie di tool si calcola la propagazione dell'orbita considerando:
 - **il drag aereodinamico**
 - **gli effetti gravitazionali di sole e luna**
 - **l'asfericità della Terra**
 - **la pressione dovuta alla radiazione solare**

Il Giroscopio

Quando il funzionamento di un giroscopio a tre gradi di libertà è perturbato da una forza esterna che tenta di spostare il disco dal piano in cui giace, spingendolo a ruotare intorno all'asse Y (o all'asse Z), il disco reagisce con una rotazione intorno all'asse Z (o all'asse Y), detta rotazione di precessione, avente senso tale da portare la rotazione del disco intorno all'asse X , in concomitanza con quella indotta dalla forza perturbatrice intorno all'asse Y . La precessione può, in un certo senso, essere vista come una "difesa" del giroscopio nei confronti della forza perturbatrice. La precessione, infatti, cessa nel momento in cui il piano di rotazione del disco si porta a coincidere col piano in cui agisce la forza perturbatrice, cosicché la forza stessa, non avendo più componenti devianti, può solo accelerare il moto di rotazione del disco.



Sensori di campo magnetico

I misuratori di campo magnetico tradizionali si basano sull'induzione: una bobina viene mossa (ruotata o fatta vibrare) in modo che il flusso F del campo magnetico B attraverso la bobina venga modulato, e la tensione indotta, proporzionale a dF/dt e quindi anche a B , viene rettificata e resa disponibile come segnale in uscita. Questo tipo di sonde presenta molti limiti: ingombro, basso rapporto segnale/rumore, complessità d'uso...

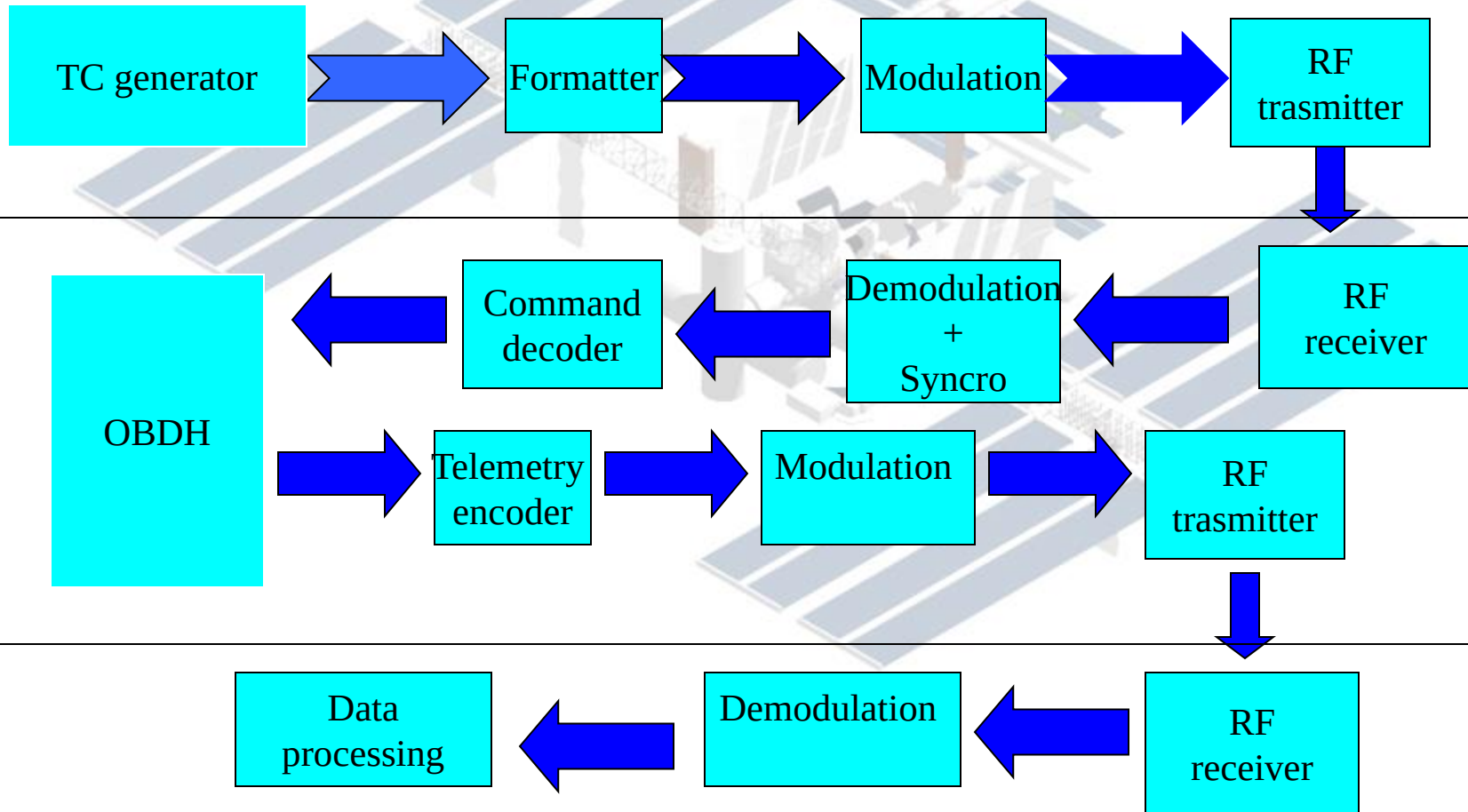
Sensori molto più semplici e compatti sono i magnetoresistori: elementi costituiti da materiale la cui resistività dipende fortemente dall'intensità del campo magnetico

6. Sistema di gestione comandi e dati a bordo

L' On Board Data Handling (OBDH) è il sistema che:

- riceve, valida, codifica e distribuisce le istruzioni ai sottosistemi di bordo
- registra, processa, formatta e conserva i dati acquisiti (scientifici e di housekeeping) per la trasmissione a Terra

L'OBDH riceve dati dai trasduttori dei vari sottosistemi, da apparati cioè che misurano un parametro fisico e convertono la misura in un segnale elettrico.



I telecomandi possono essere di vario tipo:

- real-time o time tagged
- diretti a un sottosistema o da processare a bordo
- singoli o una stringa di comandi
- fisici (p.es. on/off), logici (caricamento di registri) o s/w uploads

Le telemetrie si distinguono in:

- real time o deferred
- a formato fisso, variabile o a pacchetti
- operative (payload), funzionali (h/k) o frequency multiplexing (per trasmettere più canali contemporaneamente)

I parametri che identificano un OBDH sono:

- il numero di canali di TM
- la mole di dati acquisibile
- la velocità di acquisizione
- il numero di dati aggiuntivi necessari per il controllo degli algoritmi a bordo
- le ridondanze (watchdog)
- la precisione nella misurazione del tempo (UTC)
- gli spare

7. Sistema di comunicazione

E' il sottosistema che garantisce lo scambio di informazioni con la Terra (TM, TC, dati).

Le comunicazioni possono avvenire attraverso:

- stazioni fisse
- stazioni mobili
- broadcasting (più stazioni collegate contemporaneamente)
- data relay (verso altre stazioni spaziali con rilancio a Terra)
- a copertura totale o parziale (ricongfigurabili)
- RF o ottiche (per high data rate)
- ad accesso multiplo di frequenza (FDMA), di tempo (TDMA), di codice (CDMA)

Il problema più critico delle comunicazioni risiede nella scelta delle frequenze da utilizzare, che vengono assegnate sulla base delle necessità della missione e delle disponibilità effettive da una organizzazione internazionale che vigila sul loro utilizzo (ITU di Ginevra).

In generale:

- VHF 30 -225 MHz (LEO ed uso amatoriale)
- UHF 225-1000 MHz (uso militare)
- Banda L 1-2 GHz
- Banda S 2-4 GHz
- Banda C 4-8 GHz
- Banda X 8-124 GHz (uso militare)
-
- Banda W 75-110 GHz