

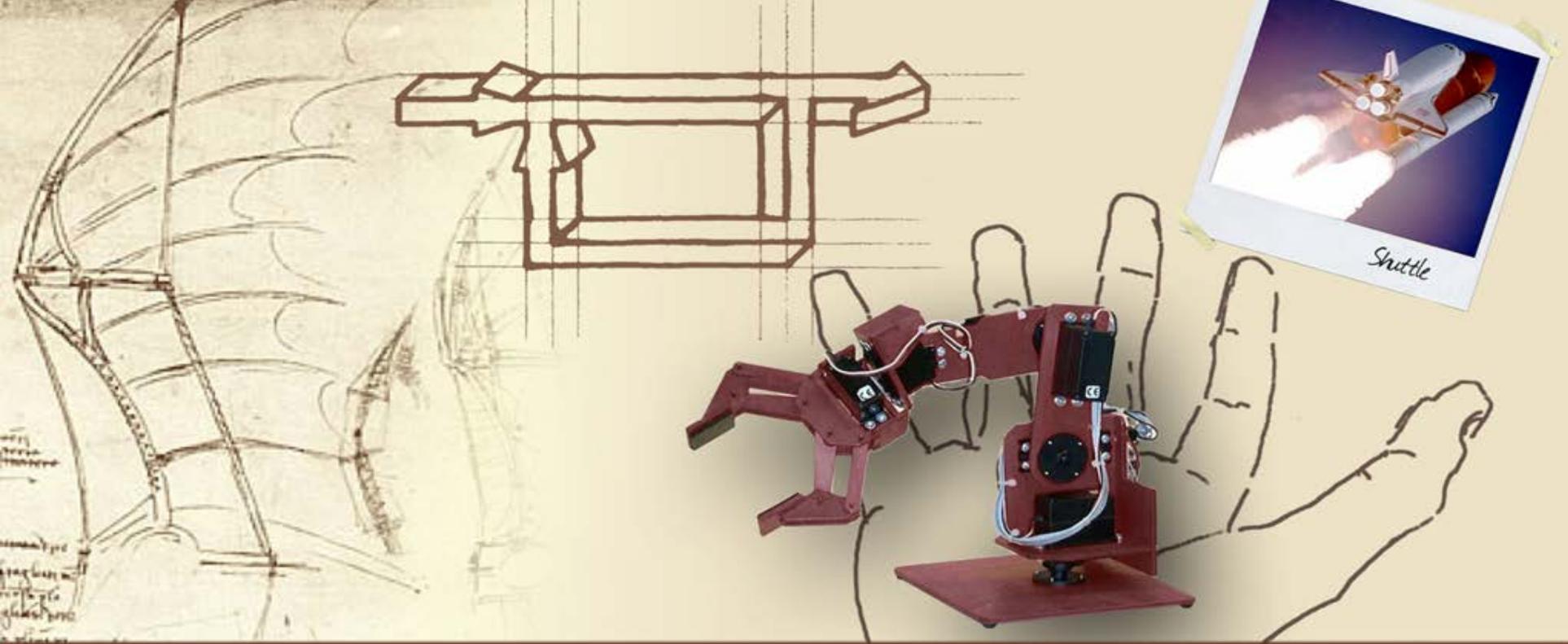
Sistemi di controllo industriali

Realizzazione dei controllori analogici



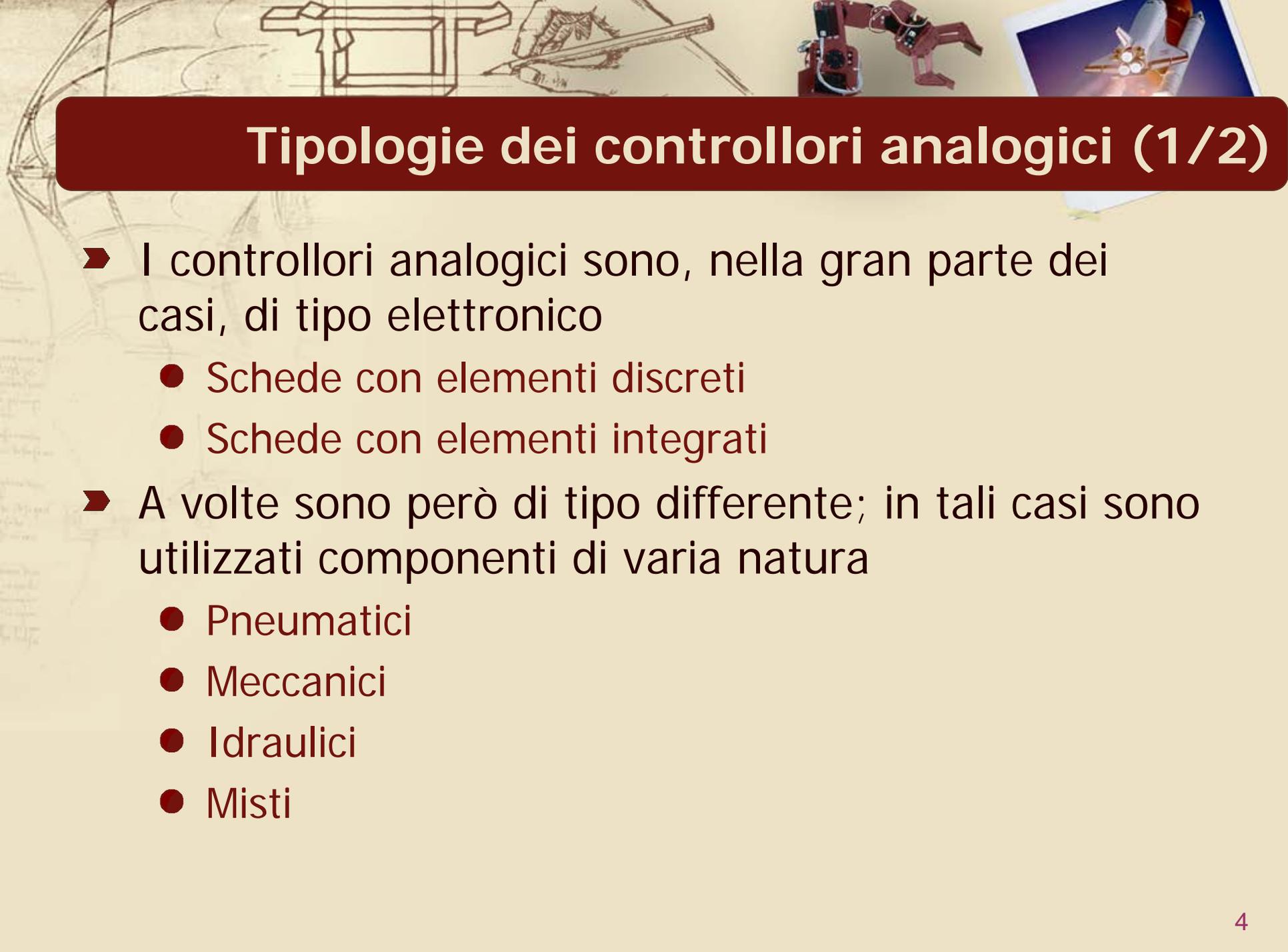
Realizzazione dei controllori analogici

- Tipologie dei controllori analogici
- Controllori analogici di tipo elettronico
- Problemi dei controllori analogici



Realizzazione dei controllori analogici

Tipologie dei controllori analogici



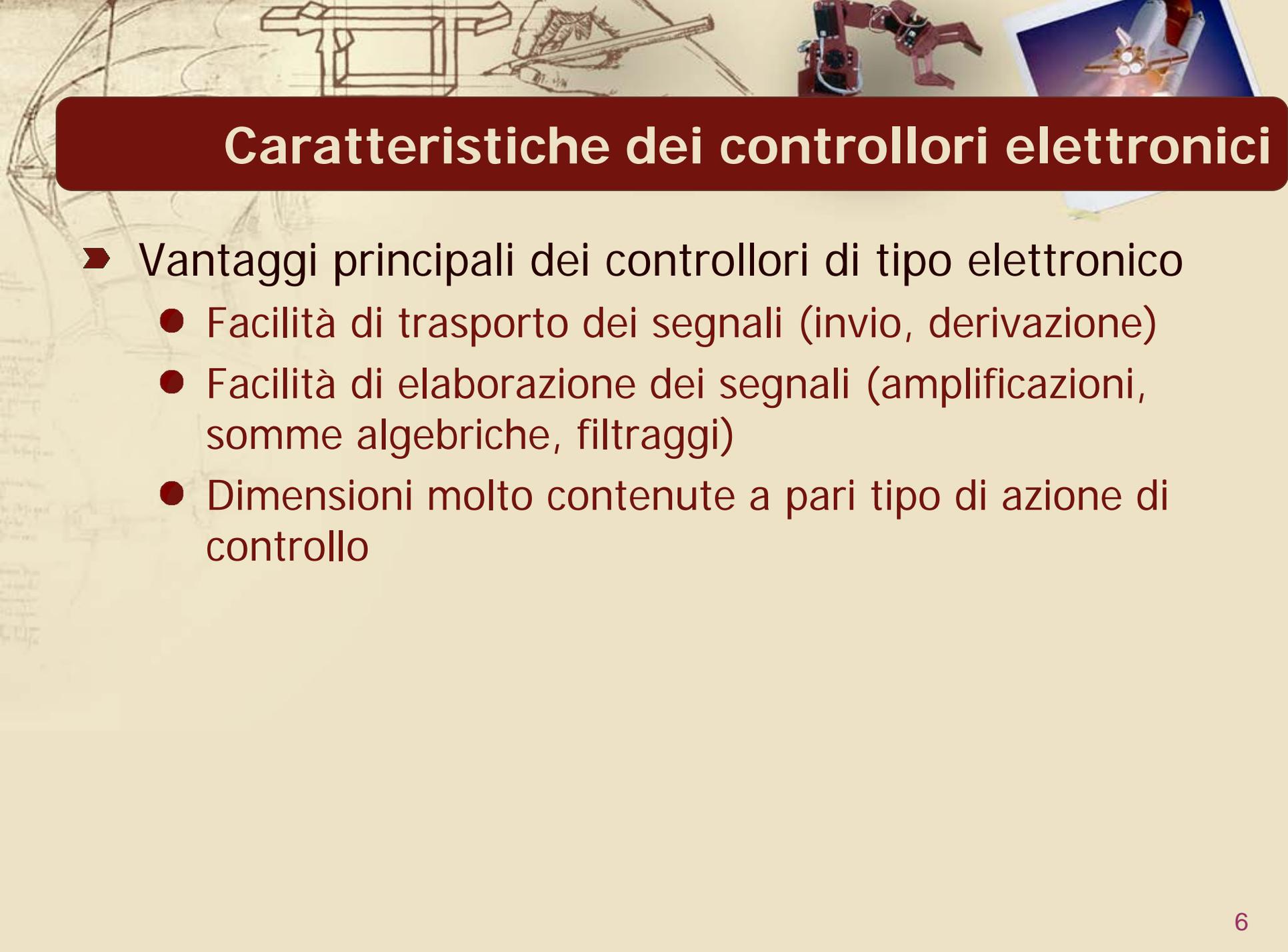
Tipologie dei controllori analogici (1/2)

- I controllori analogici sono, nella gran parte dei casi, di tipo elettronico
 - Schede con elementi discreti
 - Schede con elementi integrati
- A volte sono però di tipo differente; in tali casi sono utilizzati componenti di varia natura
 - Pneumatici
 - Meccanici
 - Idraulici
 - Misti



Tipologie dei controllori analogici (2/2)

- I controllori elettronici si usano ogniqualvolta sia possibile
 - Trasformare la variabile da controllare in una tensione (a potenza nulla) e
 - Pilotare lo stadio di ingresso del sistema con una tensione (a potenza nulla)
- Altrimenti si fa ricorso a controllori di diversa natura, per es.
 - Nei sistemi meccanico/idraulici di grande potenza (valvole regolatrici, cassette di distribuzione)
 - Nei sistemi a rischio di innesco esplosivo



Caratteristiche dei controllori elettronici

- Vantaggi principali dei controllori di tipo elettronico
 - Facilità di trasporto dei segnali (invio, derivazione)
 - Facilità di elaborazione dei segnali (amplificazioni, somme algebriche, filtraggi)
 - Dimensioni molto contenute a pari tipo di azione di controllo



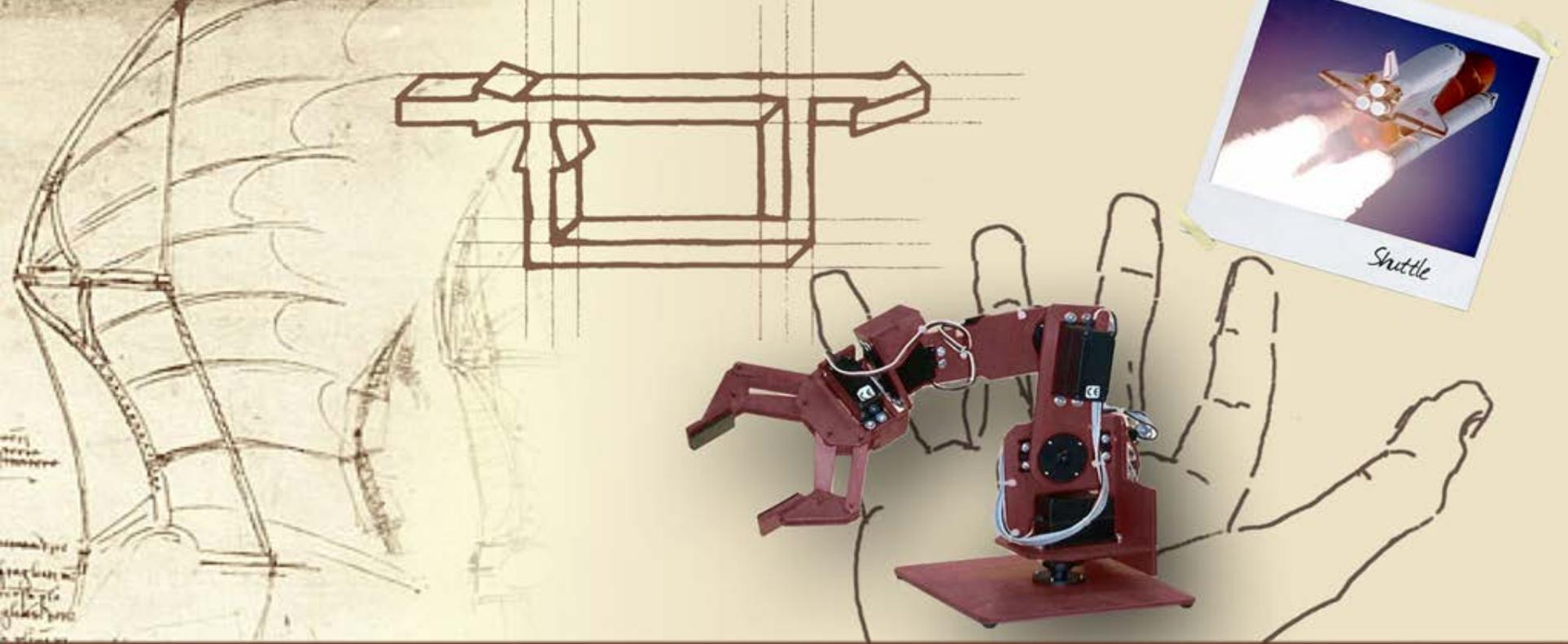
Componenti elementari dei controllori (1/2)

- I componenti elementari dei controllori di tipo elettronico sono
 - Amplificatori operazionali (**opamp**)
 - Resistori
 - Condensatori
 - Raramente altro (trasformatori, diodi, ...)



Componenti elementari dei controllori (2/2)

- I componenti elementari dei controllori di tipo non elettronico sono
 - Molle
 - Masse
 - Leveraggi
 - Ingranaggi
 - Soffietti
 - Condotti
 - Valvole
 - ...

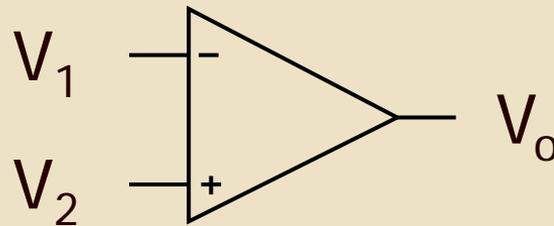


Realizzazione dei controllori analogici

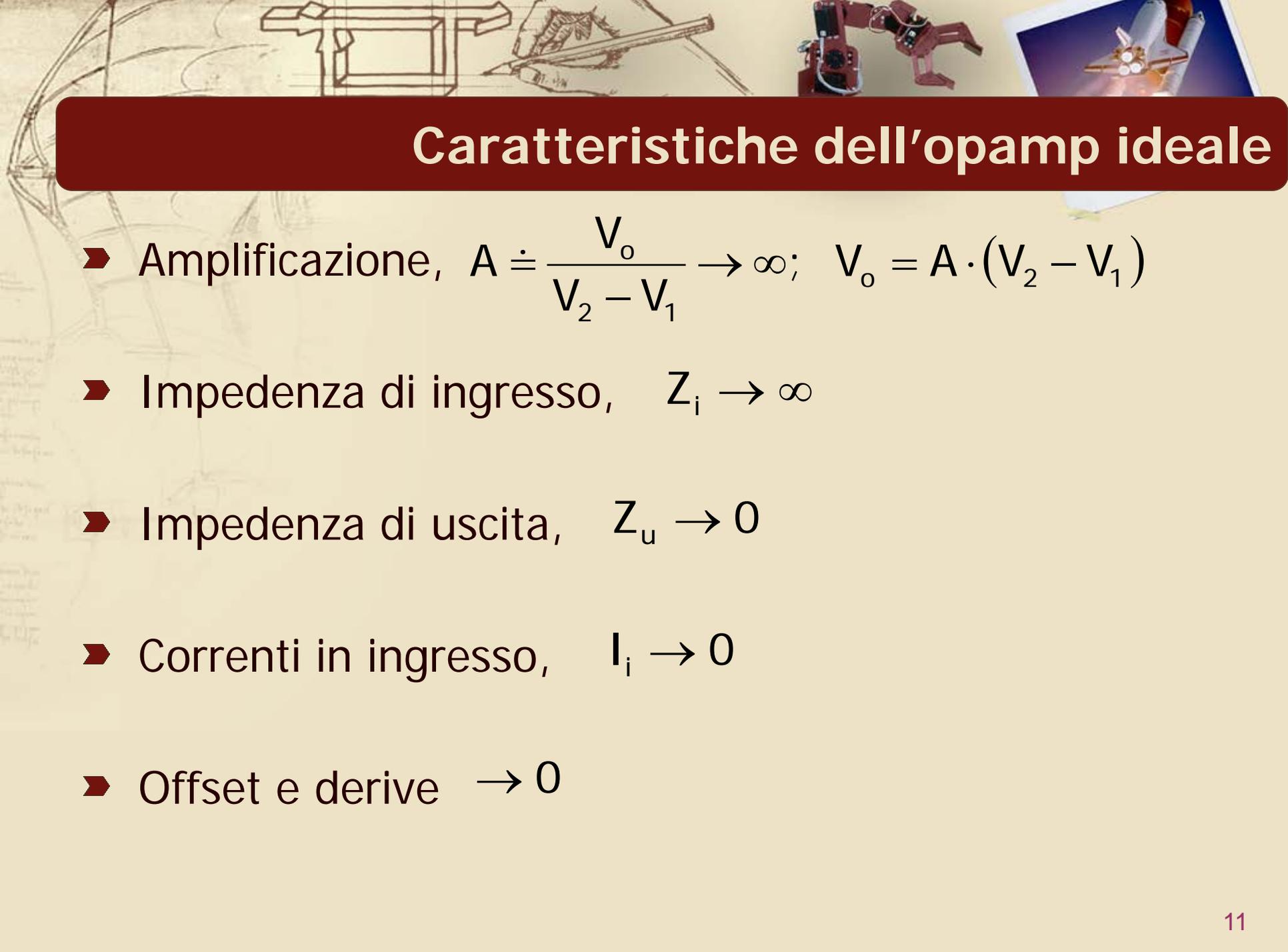
Controllori analogici di tipo elettronico

Amplificatore operazionale

- Come già detto, uno dei componenti fondamentali dei controllori di tipo elettronico è l'opamp



- Non sono riportati i terminali di alimentazione, abitualmente indicati con V_+ e V_- (in genere 5÷12 V)
- Non sono riportati i terminali per l'eventuale circuito di recupero degli offset



Caratteristiche dell'opamp ideale

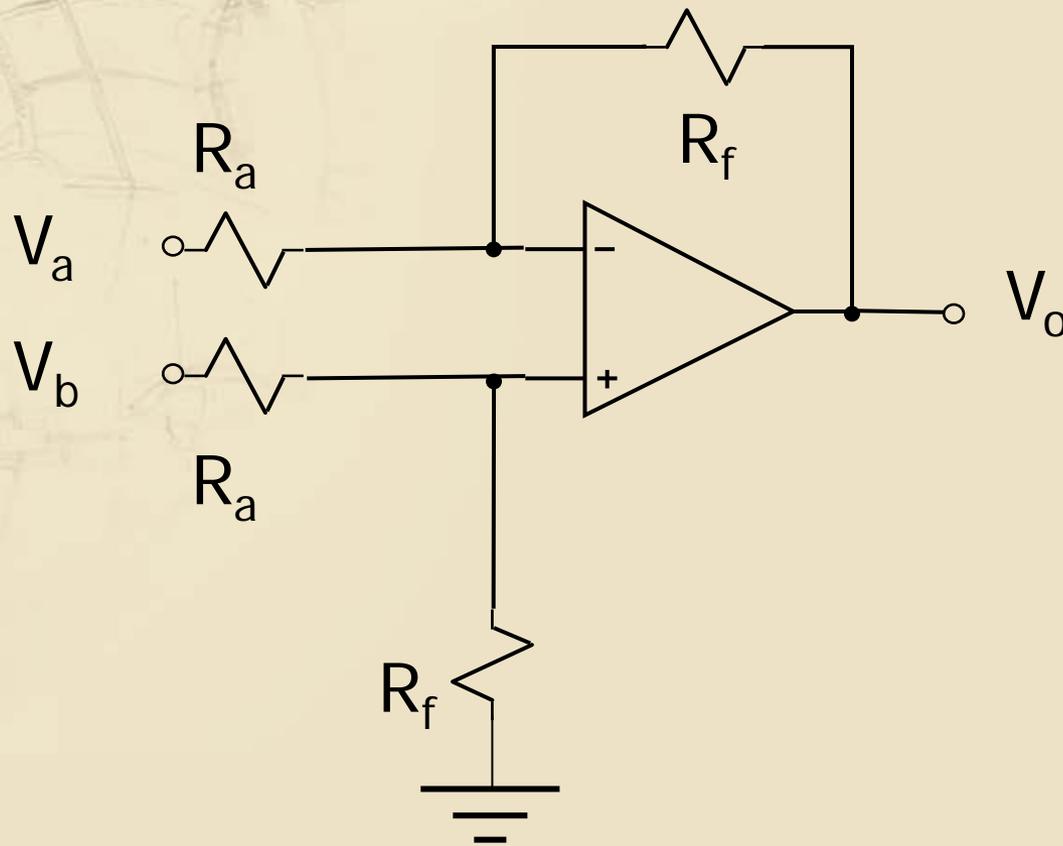
- Amplificazione, $A \doteq \frac{V_o}{V_2 - V_1} \rightarrow \infty$; $V_o = A \cdot (V_2 - V_1)$
- Impedenza di ingresso, $Z_i \rightarrow \infty$
- Impedenza di uscita, $Z_u \rightarrow 0$
- Correnti in ingresso, $I_i \rightarrow 0$
- Offset e derive $\rightarrow 0$



Schemi di principio di controllori analogici

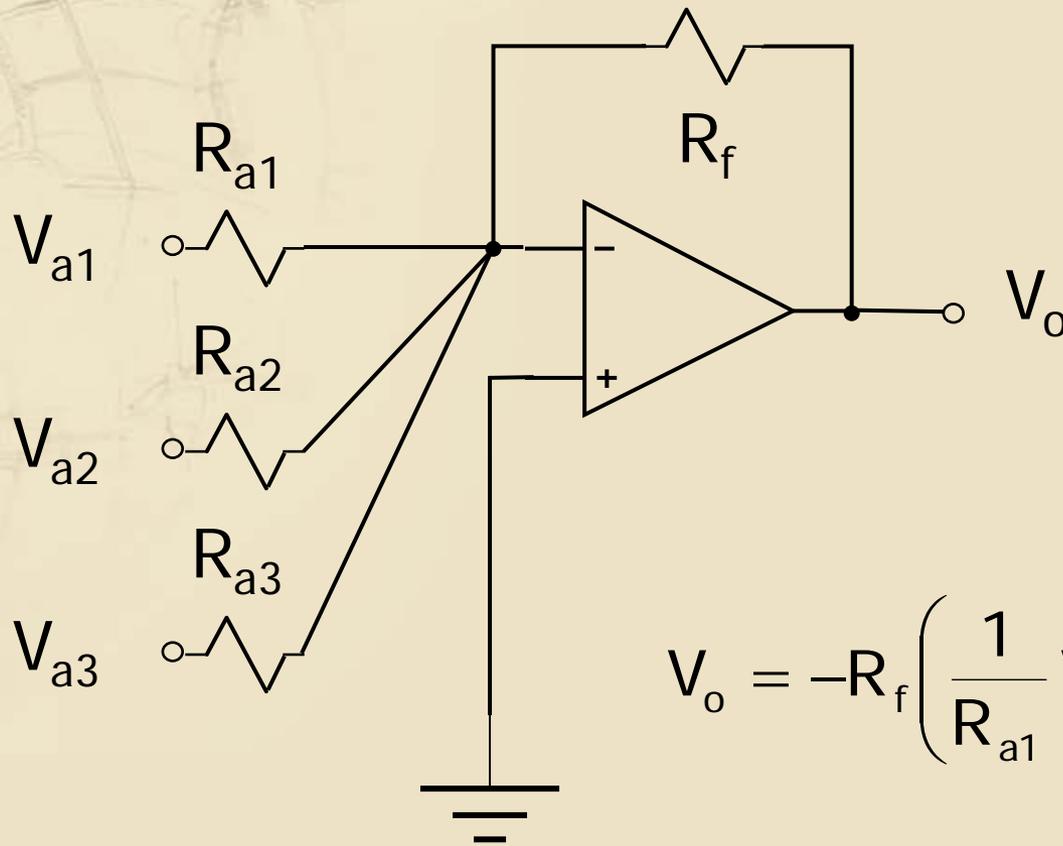
- Nelle diapositive successive sono presentati gli schemi di principio che realizzano i controllori elementari visti nelle precedenti lezioni
- Negli schemi che seguono
 - È data evidenza solo al legame ingresso/i – uscita
 - Non sono riportate le espressioni delle impedenze di ingresso e di uscita
 - Non sono rappresentati i terminali delle alimentazioni, del recupero offset, delle compensazioni

Differenza fra due segnali



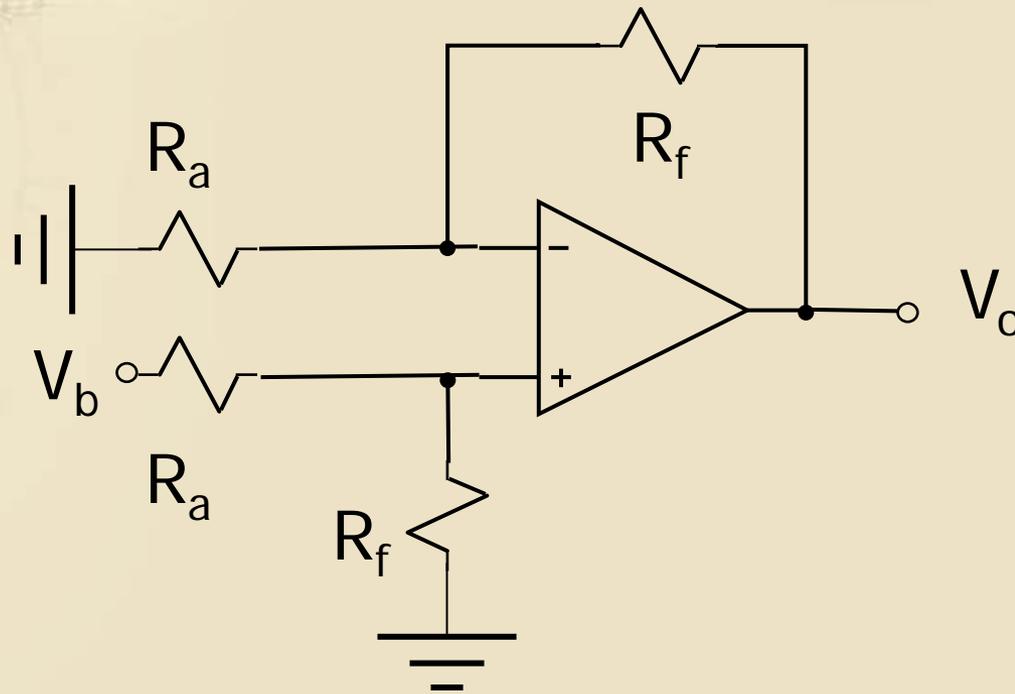
$$V_o = \frac{R_f}{R_a} (V_b - V_a)$$

Combinazione lineare di più segnali



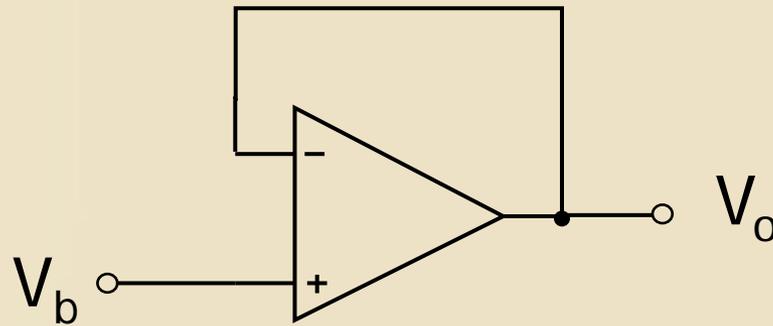
$$V_o = -R_f \left(\frac{1}{R_{a1}} V_{a1} + \frac{1}{R_{a2}} V_{a2} + \frac{1}{R_{a3}} V_{a3} \right)$$

Amplificatore non invertente



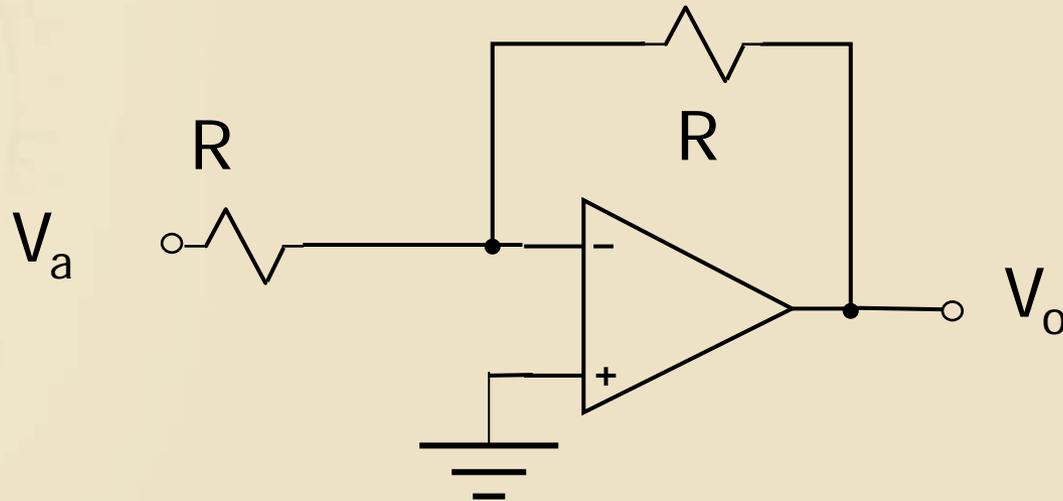
$$V_o = \frac{R_f}{R_a} V_b$$

Voltage follower (disaccoppiatore)



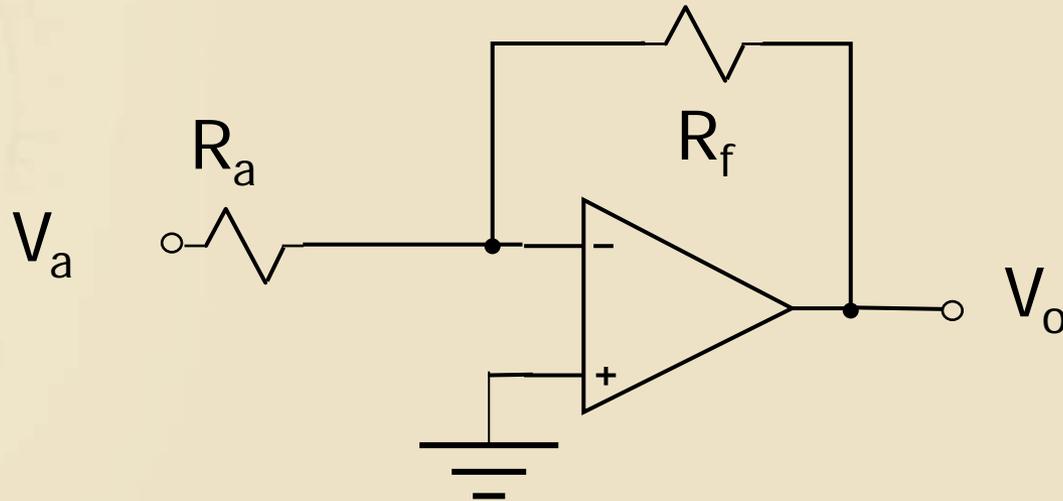
$$V_o = V_b$$

Invertitore di segno



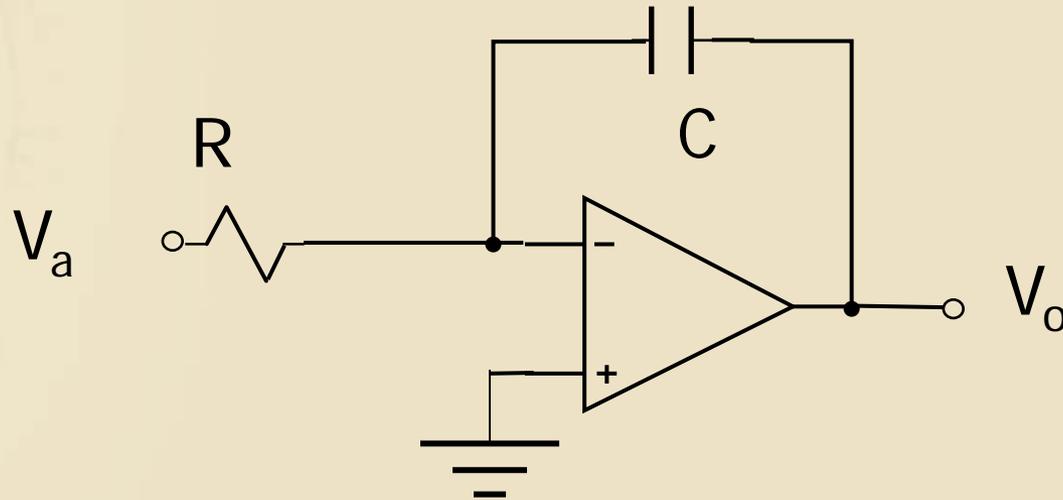
$$V_o = -V_a$$

Compensatore di tipo P



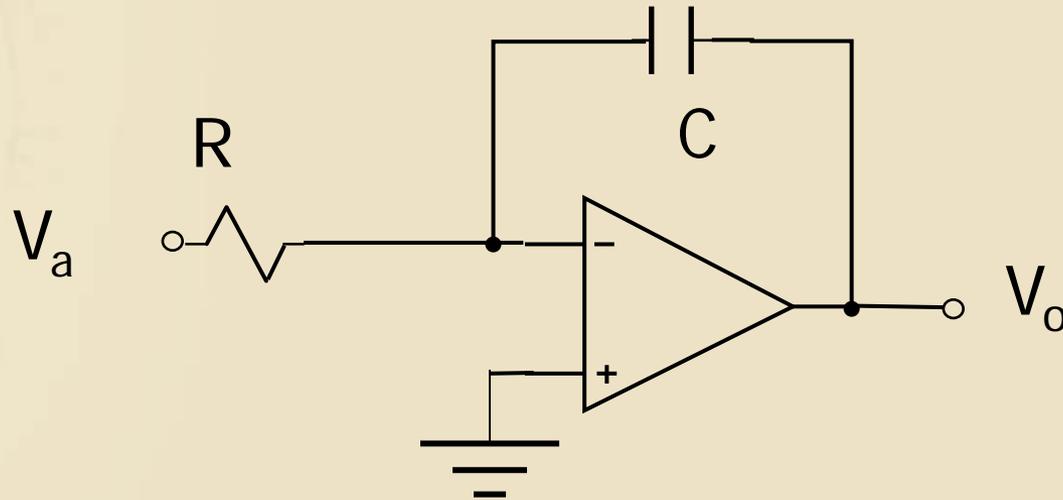
$$V_o = -\frac{R_f}{R_a} V_a$$

Integratore (compensatore di tipo I)



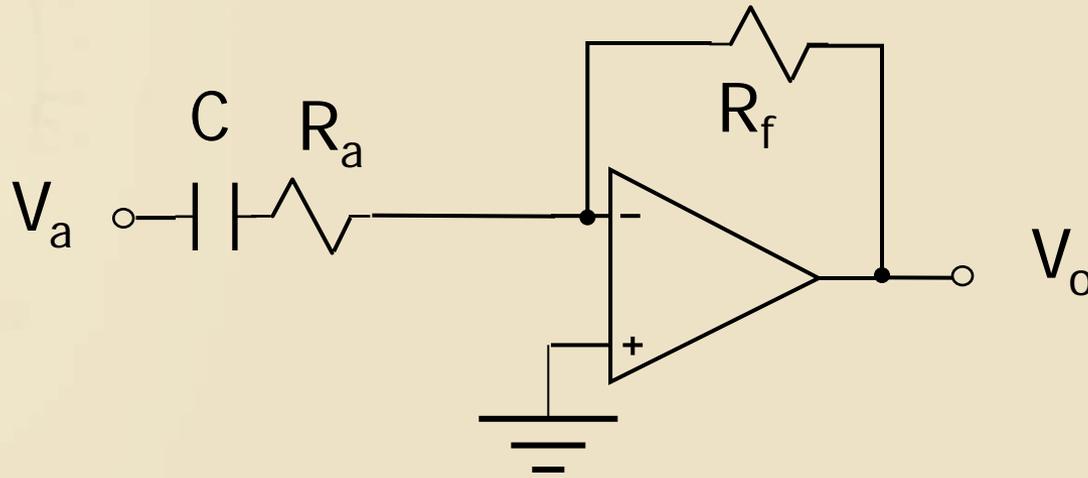
$$V_o = -\frac{1}{RCs} V_a$$

Integratore (compensatore di tipo I)



$$V_o(t) = - \left(V_o(t_0) + \frac{1}{RC} \int_{t_0}^t V_a(\tau) d\tau \right)$$

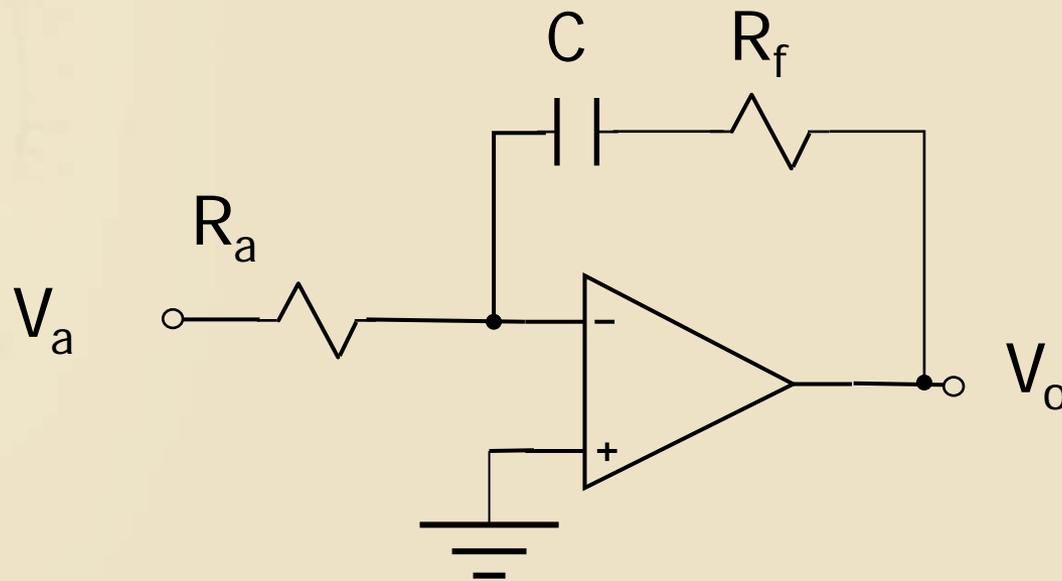
Derivatore (compensatore di tipo D)



$$V_o = -\frac{R_f C s}{1 + R_a C s} V_a$$

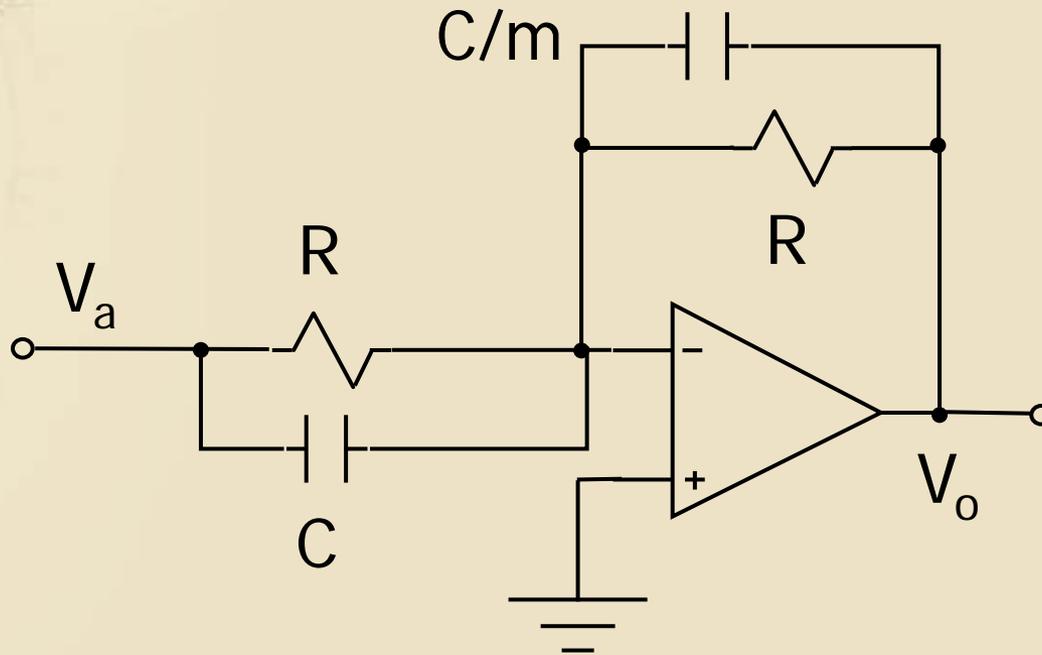
polo di chiusura

Compensatore di tipo PI



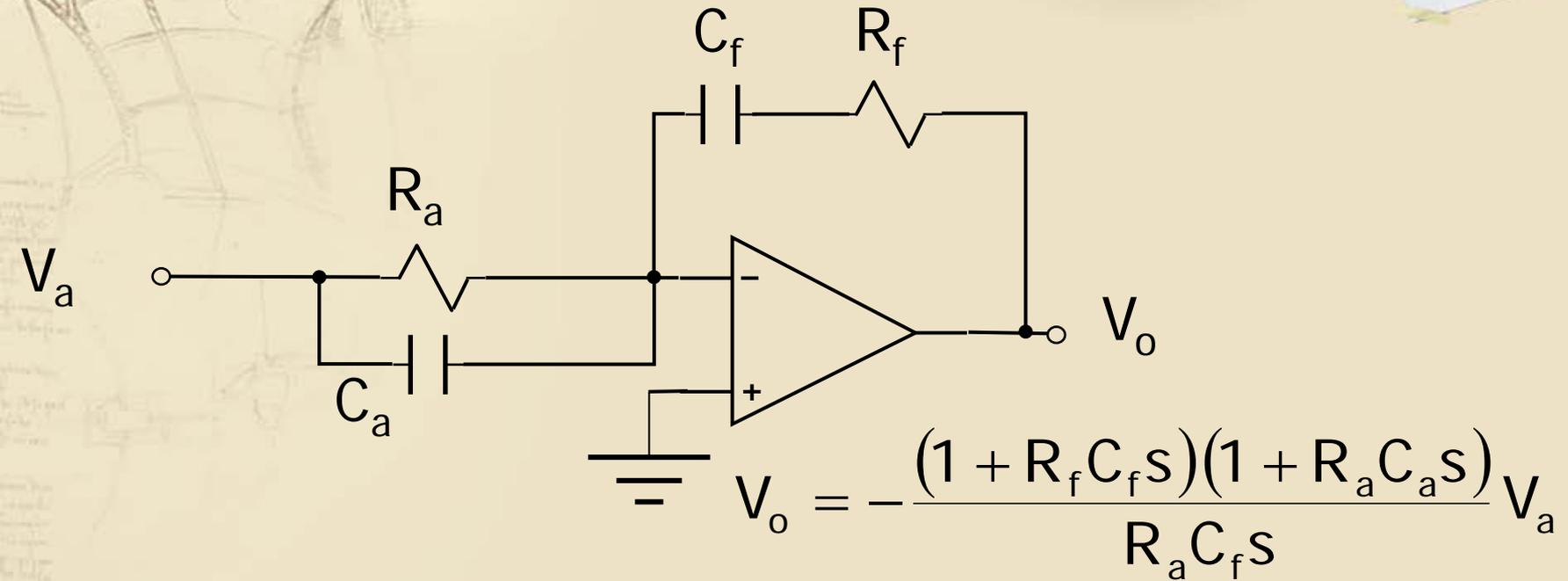
$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_a} + \frac{1}{R_a C s}\right) V_a = -\frac{1}{R_a C} \cdot \frac{1 + R_f C s}{s} V_a$$

Compensatore PD (con polo di chiusura)



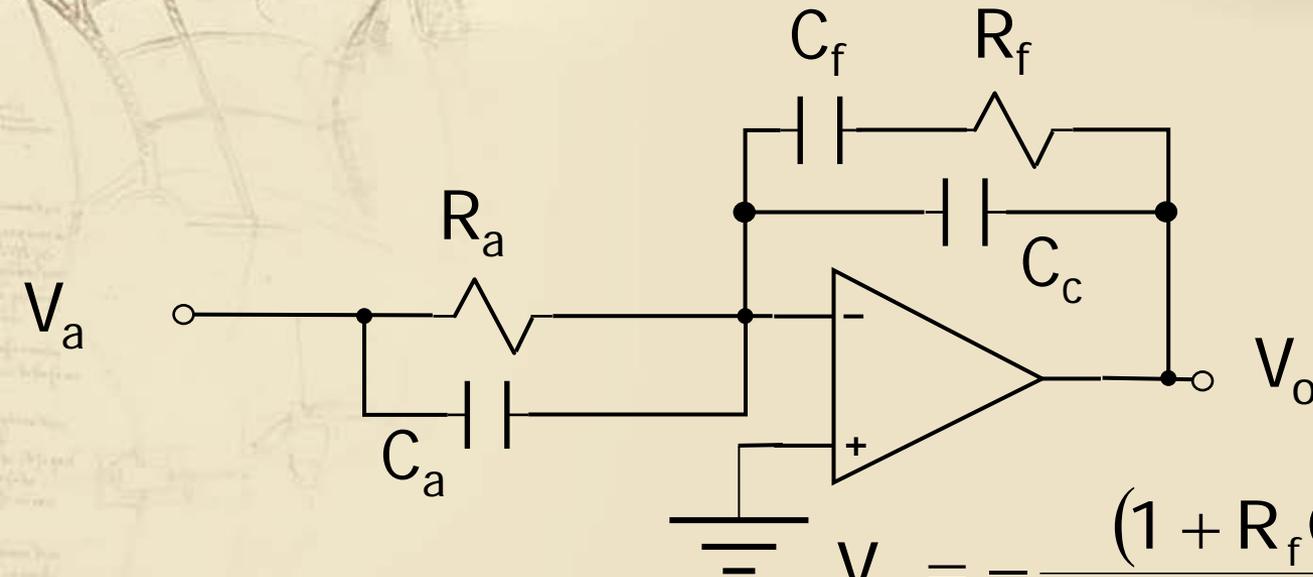
$$V_o = -\frac{1 + RCs}{1 + \frac{RCs}{m}} V_a, \quad \text{con } m \gg 1$$

Compensatore di tipo PID



$$V_o = - \left(\underbrace{\frac{C_a}{C_f} + \frac{R_f}{R_a}}_P + \underbrace{\frac{1}{R_a C_f s}}_I + \underbrace{R_f C_a s}_D \right) V_a$$

Compensatore di tipo PID (con chiusura)



$$V_o = - \frac{(1 + R_f C_f s)(1 + R_a C_a s)}{R_a C_f s \cdot (1 + C_c / C_f + R_f C_c s)} V_a$$

$$V_o = - \left(\underbrace{\frac{C_a}{C_f} + \frac{R_f}{R_a}}_P + \underbrace{\frac{1}{R_a C_f s}}_I + \underbrace{R_f C_a s}_D \right) \cdot \frac{1}{(1 + C_c / C_f + R_f C_c s)} V_a$$

Compensatore di tipo PID (con chiusura)

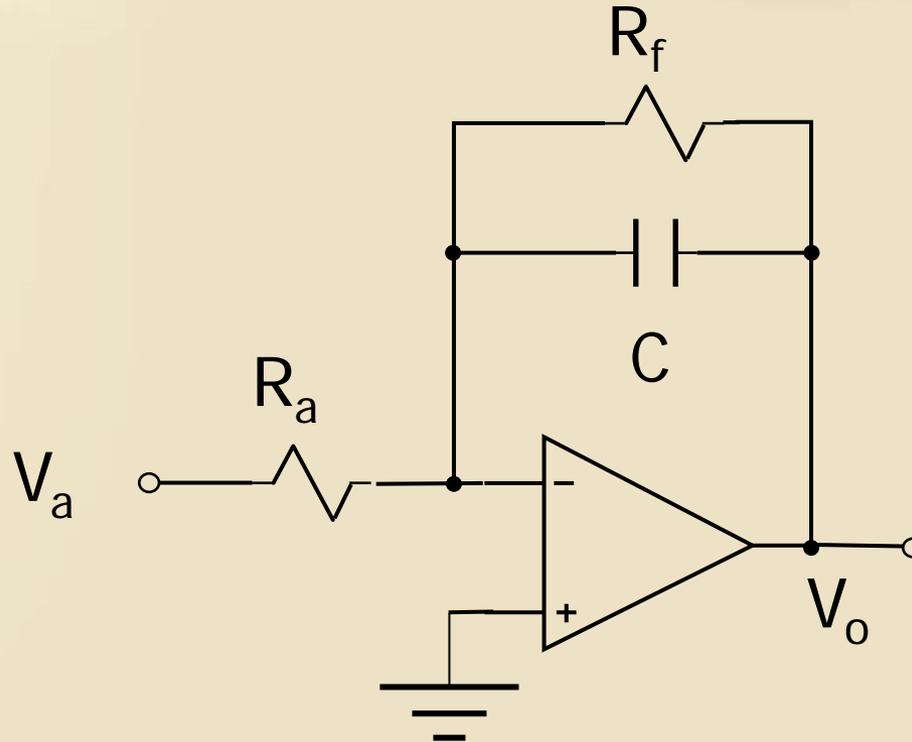
► Condizione importante

$$C_c \ll C_f < \frac{R_a}{R_f} C_a$$

$$V_o = - \frac{(1 + R_f C_f s)(1 + R_a C_a s)}{R_a C_f s \cdot (1 + C_c / C_f + R_f C_c s)} V_a$$

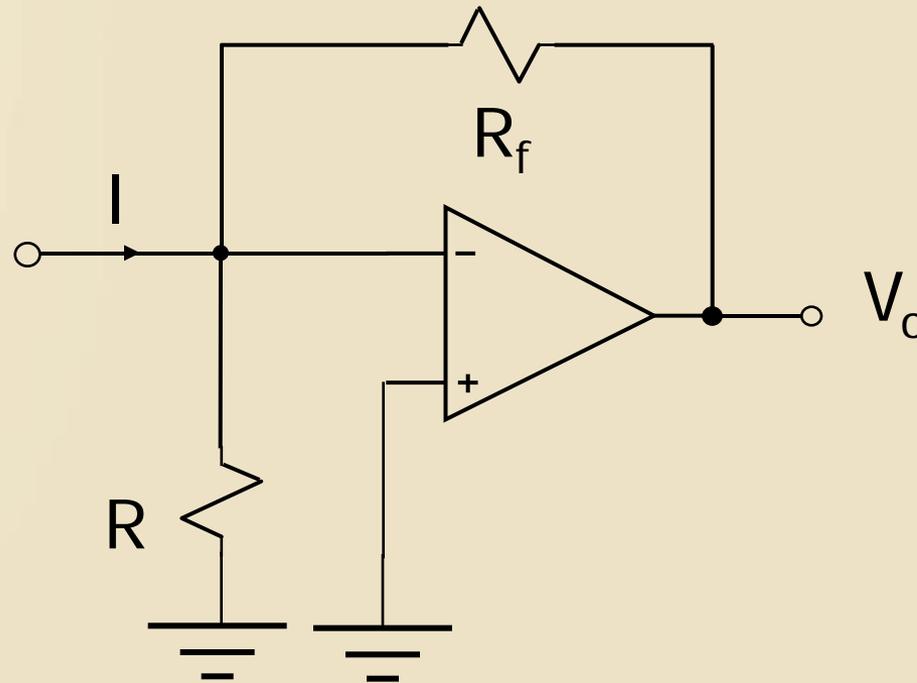
$$V_o = - \left(\underbrace{\frac{C_a}{C_f} + \frac{R_f}{R_a}}_P + \underbrace{\frac{1}{R_a C_f s}}_I + \underbrace{R_f C_a s}_D \right) \cdot \frac{1}{(1 + C_c / C_f + R_f C_c s)} V_a$$

Polo reale stabile



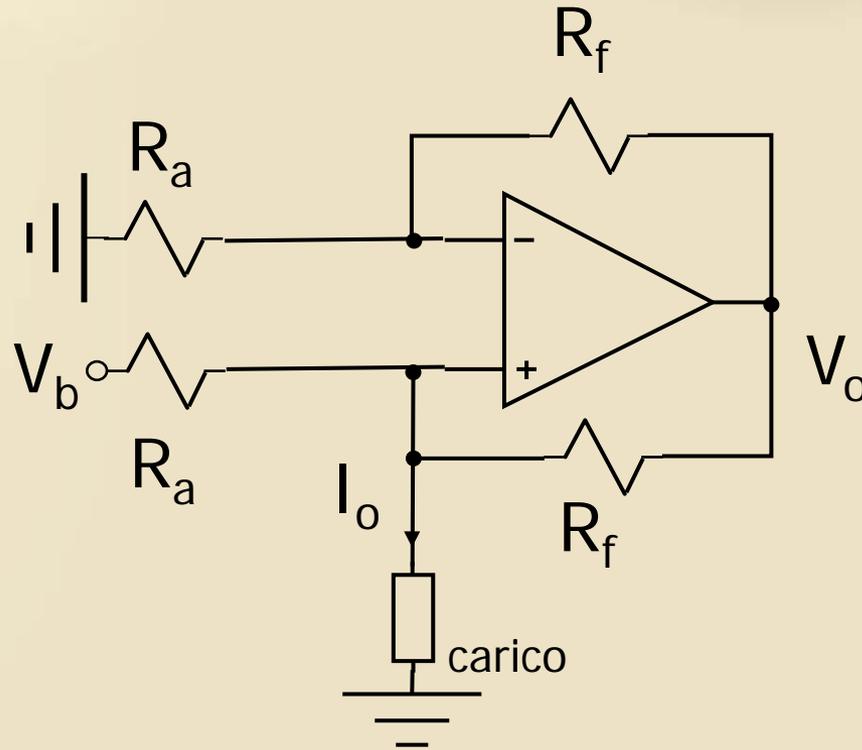
$$V_o = - \left(\frac{R_f / R_a}{1 + R_f C s} \right) V_a$$

Convertitore corrente-tensione



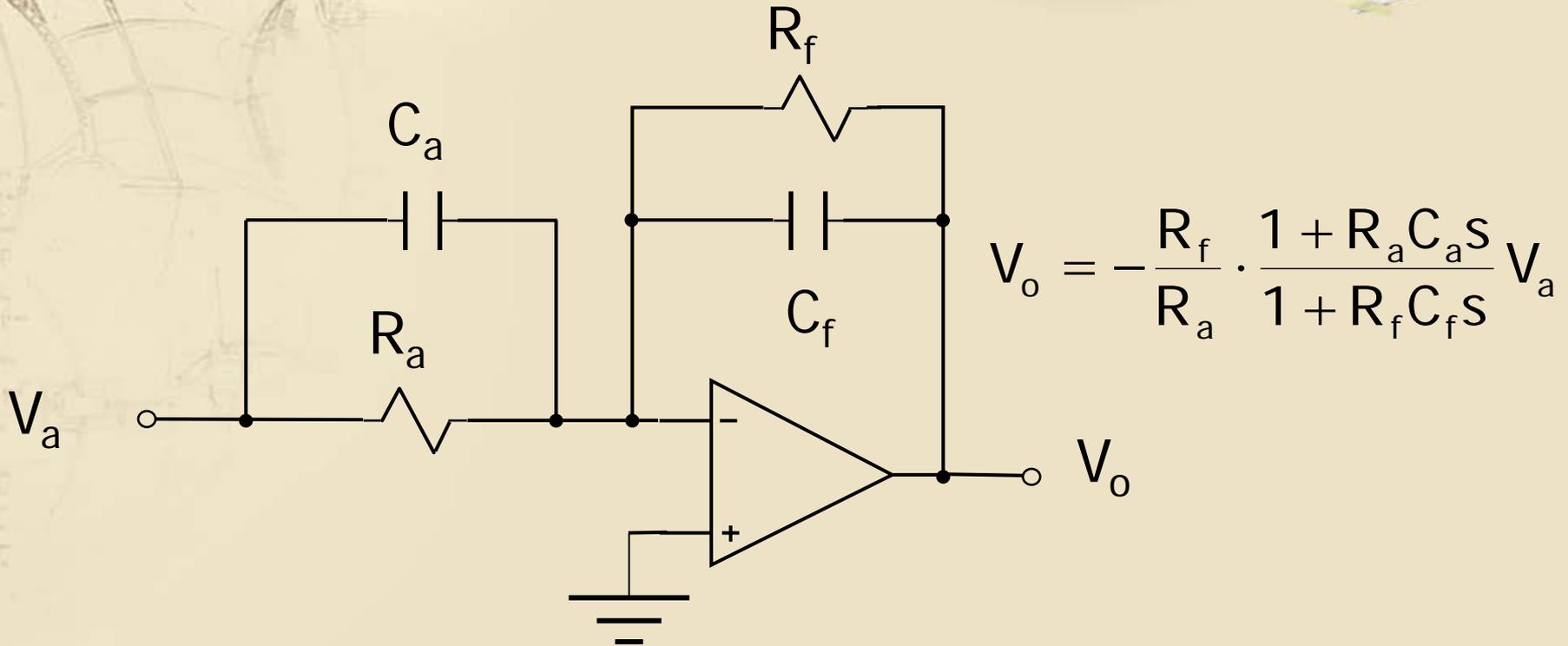
$$V_o = -R_f I$$

Convertitore tensione-corrente



$$I_o = \frac{V_b}{R_a}$$

Rete derivativa o integrativa

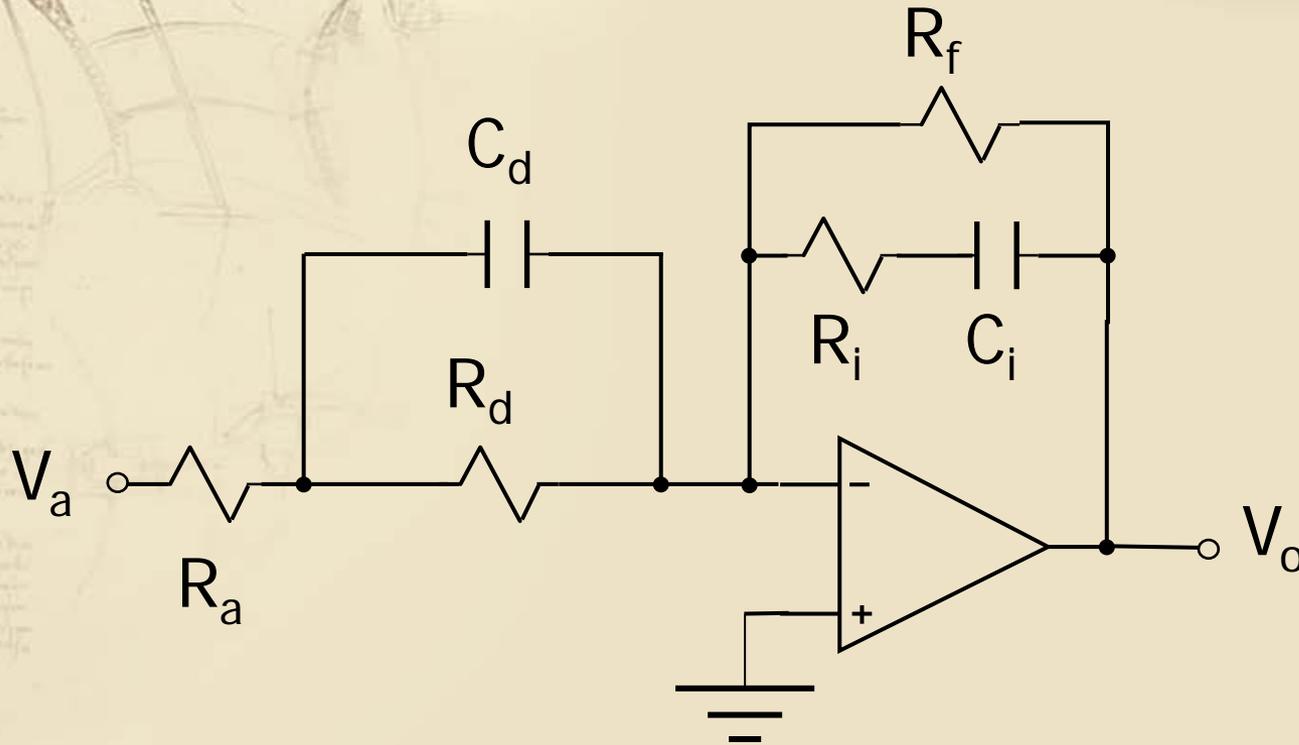


$$V_o = -\frac{R_f}{R_a} \cdot \frac{1 + R_a C_a s}{1 + R_f C_f s} V_a$$

Derivativa se : $R_a C_a > R_f C_f$

Integrativa se : $R_a C_a < R_f C_f$

Rete integro-derivativa

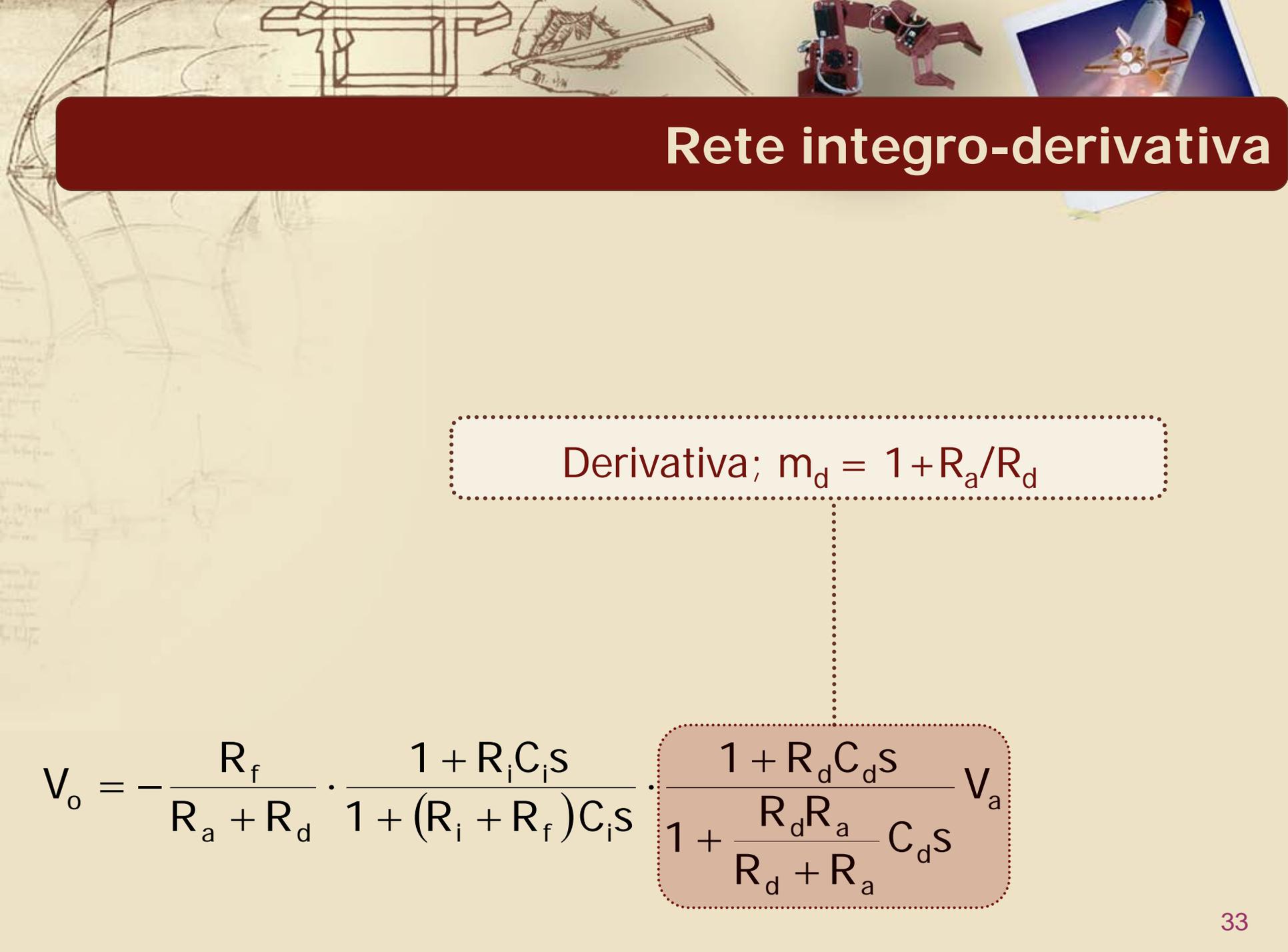


$$V_o = -\frac{R_f}{R_a + R_d} \cdot \frac{1 + R_i C_i s}{1 + (R_i + R_f) C_i s} \cdot \frac{1 + R_d C_d s}{1 + \frac{R_d R_a}{R_d + R_a} C_d s} V_a$$

Rete integro-derivativa

Integrativa; $m_i = 1 + R_f/R_i$

$$V_o = -\frac{R_f}{R_a + R_d} \cdot \frac{1 + R_i C_i s}{1 + (R_i + R_f) C_i s} \cdot \frac{1 + R_d C_d s}{1 + \frac{R_d R_a}{R_d + R_a} C_d s} V_a$$



Rete integro-derivativa

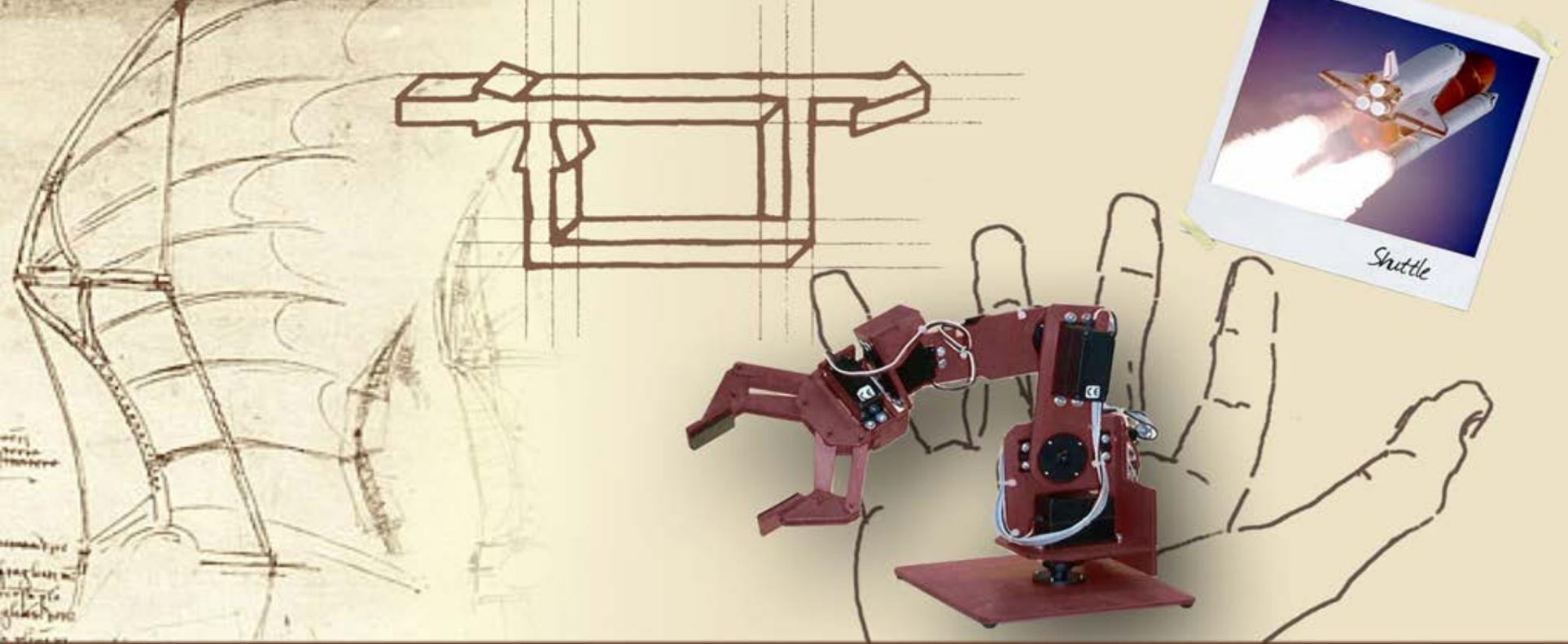
Derivativa; $m_d = 1 + R_a/R_d$

$$V_o = -\frac{R_f}{R_a + R_d} \cdot \frac{1 + R_i C_i s}{1 + (R_i + R_f) C_i s} \cdot \frac{1 + R_d C_d s}{1 + \frac{R_d R_a}{R_d + R_a} C_d s} V_a$$

Rete integro-derivativa

$$(R_i + R_f)C_i > R_d C_d$$

$$V_o = -\frac{R_f}{R_a + R_d} \cdot \frac{1 + R_i C_i s}{1 + (R_i + R_f) C_i s} \cdot \frac{1 + R_d C_d s}{1 + \frac{R_d R_a}{R_d + R_a} C_d s} V_a$$



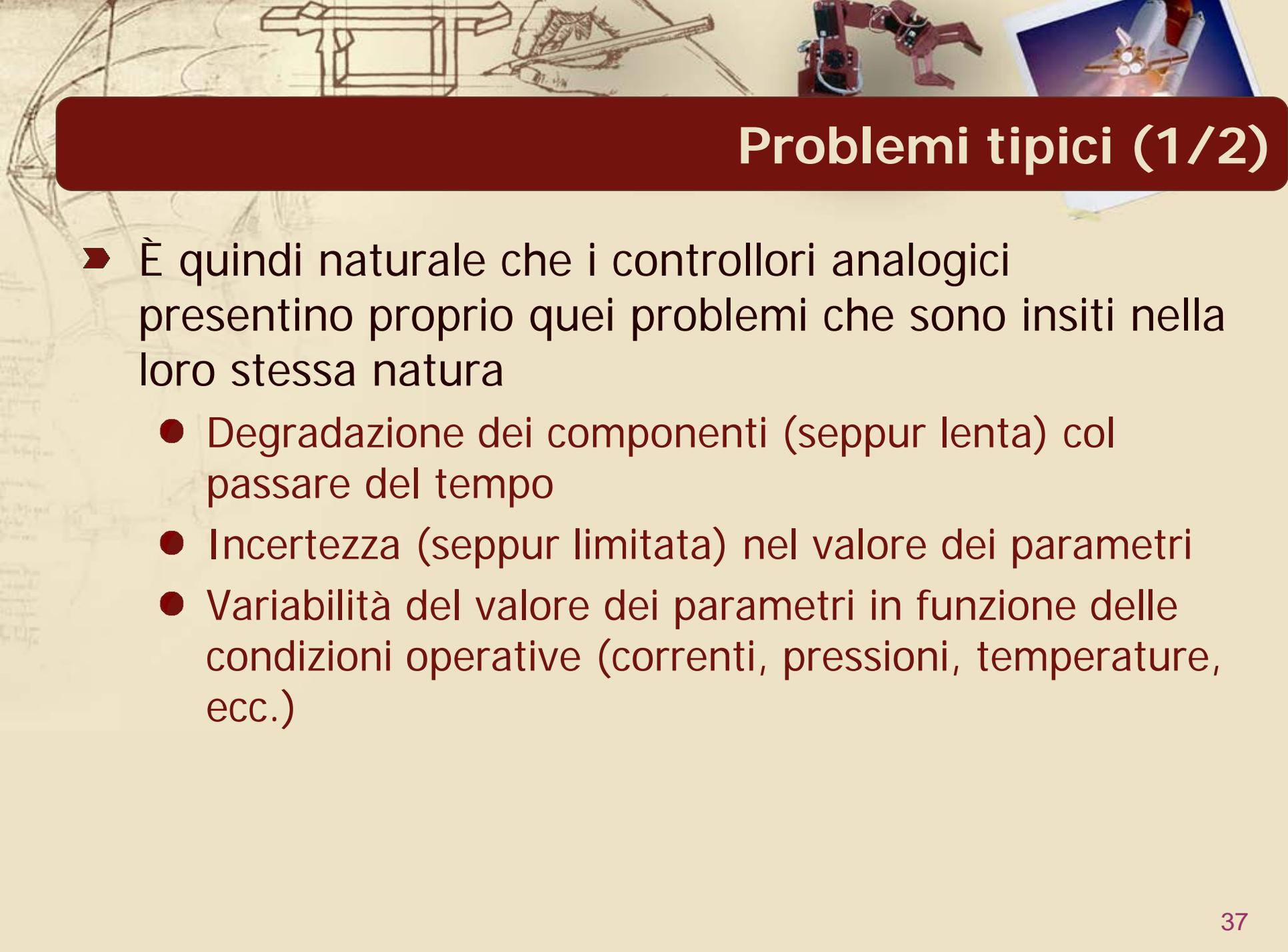
Realizzazione dei controllori analogici

Problemi dei controllori analogici



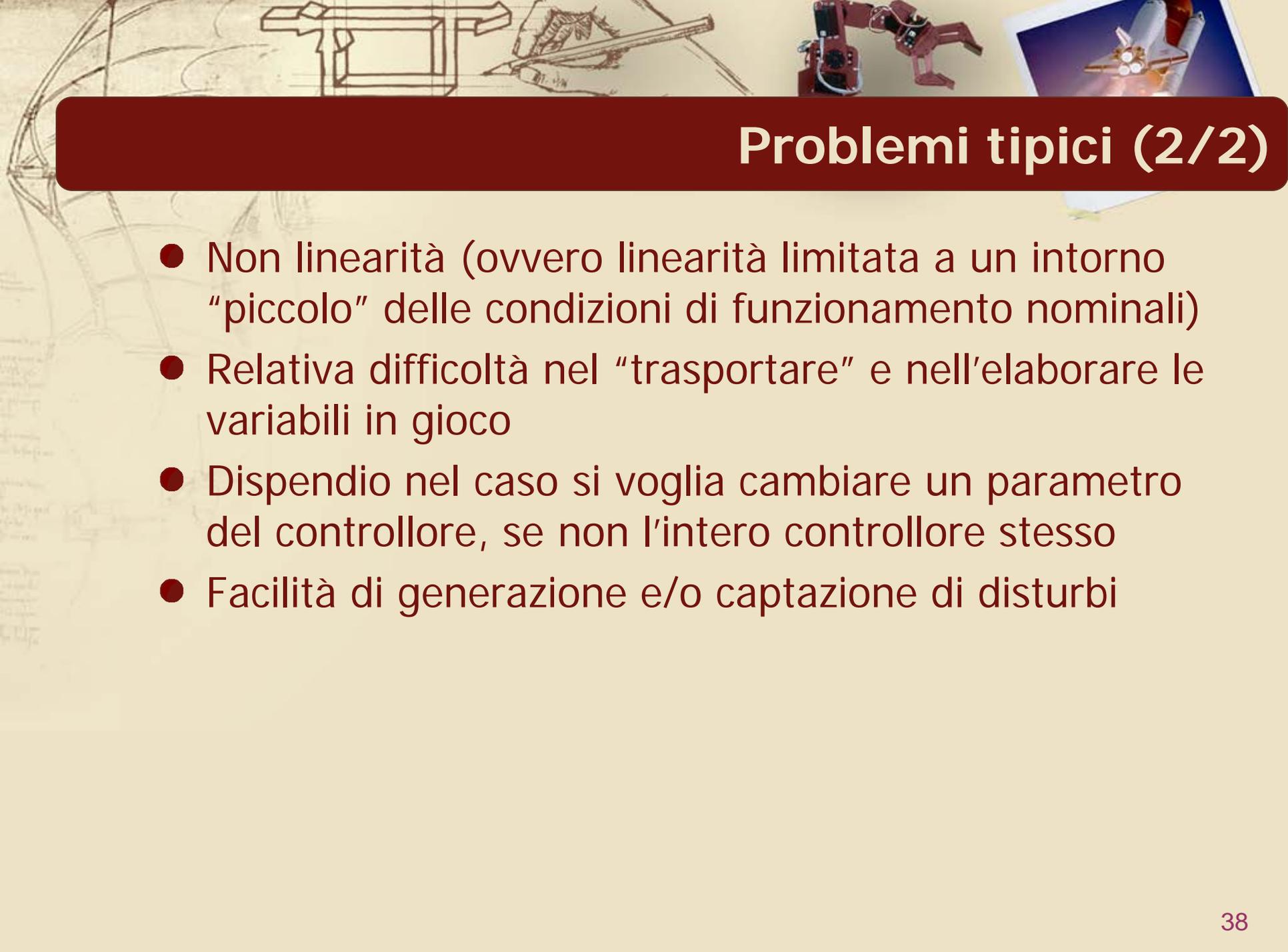
Parametri dei controllori analogici

- I controllori analogici, di qualunque natura essi siano, sono costituiti dall'interconnessione di componenti "elementari"
- Ciascun componente elementare è caratterizzato dal parametro associato
 - Resistore → resistenza R
 - Condensatore → capacità C
 - Molla → costante elastica K
 - Soffietto → capacità C_p
 - Amplificatore → amplificazione A
 - ...



Problemi tipici (1/2)

- È quindi naturale che i controllori analogici presentino proprio quei problemi che sono insiti nella loro stessa natura
 - Degradazione dei componenti (seppur lenta) col passare del tempo
 - Incertezza (seppur limitata) nel valore dei parametri
 - Variabilità del valore dei parametri in funzione delle condizioni operative (correnti, pressioni, temperature, ecc.)



Problemi tipici (2/2)

- Non linearità (ovvero linearità limitata a un intorno “piccolo” delle condizioni di funzionamento nominali)
- Relativa difficoltà nel “trasportare” e nell’elaborare le variabili in gioco
- Dispendio nel caso si voglia cambiare un parametro del controllore, se non l’intero controllore stesso
- Facilità di generazione e/o captazione di disturbi



Possibili soluzioni

- Al fine di risolvere i problemi elencati, possono essere prospettate alcune soluzioni
 - Analizzare la dipendenza delle funzioni di sensibilità della catena chiusa dai vari parametri del controllore
 - Progettare controllori analogici più robusti di quanto strettamente richiesto dalle specifiche
 - Realizzare i controllori analogici con componenti “molto stabili” e “molto precisi” (e quindi “molto costosi”)
 - **Progettare (e realizzare) controllori digitali**