



# La tolleranza ai guasti

## Hardware tollerante ai guasti fisici

Docente:

William Fornaciari

Politecnico di Milano

[fornacia@elet.polimi.it](mailto:fornacia@elet.polimi.it)

[www.elet.polimi.it/~fornacia](http://www.elet.polimi.it/~fornacia)

---

# Sommario

---

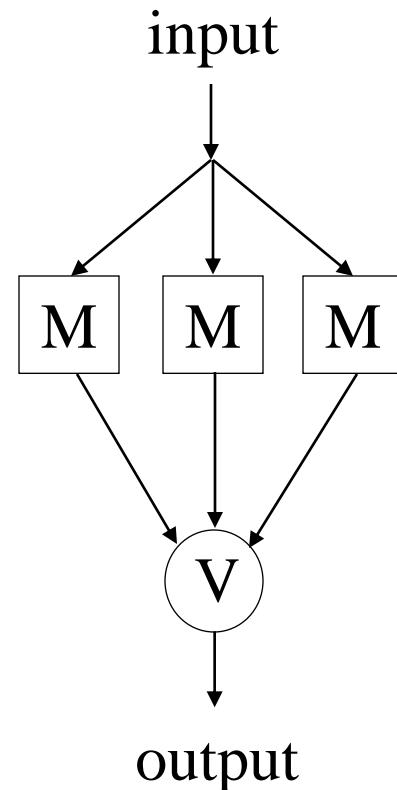


- Triple Modular Redundancy
- Ridondanza dinamica
- Codice per il controllo degli errori

# Triple Modular Redundancy (TRM)



- Introdotta da Von Neumann
  - ▶ Unità hardware  $M$  triplicata
  - ▶ L'arbitro  $V$  (*voting element*) esamina i risultati delle  $M$
  - ▶ L'output è quello ricevuto identico da almeno due unità
- Mascheratura senza ripristino
- Utile per guasti transitori
- Inutile se si guasta l'arbitro (salvo ridondanza negli arbitri)
- Generalizzabile a  $N$  Modular Redundancy (NMR)

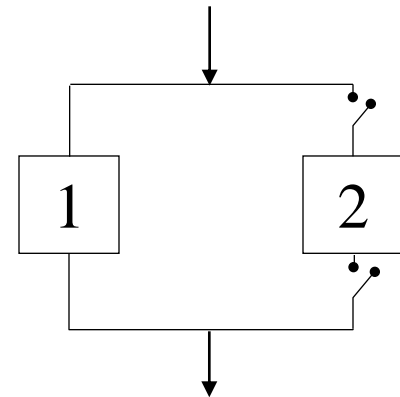


# Ridondanza dinamica

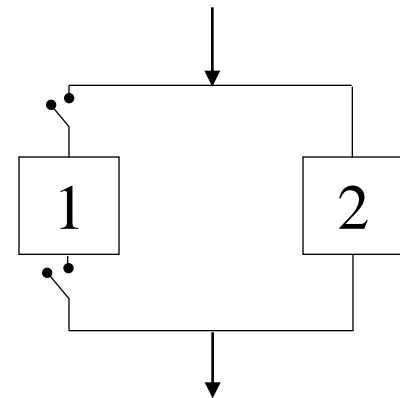


## Ridondanza dinamica cold-standby

- Composto da una o più unità identiche, di cui una sola allacciata al sistema. Le unità non attive sono di scorta.
- Come riconoscere se un'unità è guasta?
  - ▶ Test periodico
  - ▶ circuiti di autodiagnostica
  - ▶ timer watchdog



guasto a 1



# Ridondanza dinamica

---



## Sistema di ridondanza dinamica hot-standby:

- Una o più unità identiche sono allacciate (come nel TRM) contemporaneamente, con circuito di matching a valle
  - ▶ se gli output sono identici, se ne prende uno a caso
  - ▶ se sono diversi, parte un programma di diagnosi per la rilevazione dell'unità guasta
  - ▶ viene staccata l'unità guasta
- Il sistema hot-standby più comune è detto **duplex** con due sole unità in parallelo (risparmio di un'unità rispetto a TRM, ma individuazione dell'elemento guasto più complicata)

# Codici per il controllo degli errori

---



- Quanti errori voglio essere in grado di trattare?
- Individuazione e ritrasmissione?
- Individuazione e correzione?
  - ▶ correzione parziale e ritrasmissione?
  - ▶ correzione totale?
- La semplice individuazione del singolo errore (implica ritrasmissione) è la scelta più economica
- Individuazione e parziale correzione con ritrasmissione è usualmente usata su canali rumorosi
- Individuazione e correzione totale è complicata e costosa

# Codici per il controllo degli errori

## Codici di blocco

---



- L'informazione è di lunghezza  $k$ , codificata di norma usando il numero minore di simboli (ASCII)
- Parole di codice di lunghezza fissa  $n > k$
- Si ha una ridondanza definita come

$$\frac{n - k}{n}$$

- Si indicano con la notazione *codice*( $n, k$ )
- La ridondanza dipende dal modello del canale
  - ▶ canale senza memoria (Shannon)
  - ▶ canale con memoria dell'ultimo stato (Markov)
  - ▶ modelli più complicati (Mandelbrot)

# Codici per il controllo degli errori

## Codici separabili e codici polinomiali ciclici

---



- Nei codici separabili, la parte di informazione è separabile da quella di controllo (ridondante)
  - ▶ Codici separabili *lineari*: ogni simbolo di controllo è combinazione lineare dei simboli di informazione. Ad esempio, *parità* (il bit ridondante è posto *1* se c'è un numero pari di *1* nei bit di informazione, *0* viceversa)
- Nei codici polinomiali ciclici i simboli di informazione sono coefficienti di un polinomio
  - ▶ codici correttori di bit singolo (codice Hamming)
  - ▶ codici correttori di bit multipli anche non adiacenti
  - ▶ codici correttori di carattere (stringa di bit) singolo
  - ▶ codici correttori di caratteri (stringa di bit) multipli