

## Pipeline *Super-pipeline*

- Suddivisione di singole fasi di ampiezza  $T$  in  $n$  sottofasi distinte
- Attivazione di  $i \leq n$  istruzioni nella medesima fase, ad intervalli regolari  $T/n$
- Utilizzo di  $n$  pipeline operanti in parallelo

## Pipeline *Pipeline super-scalare 1*

- Esecuzione (**avvio**) di più istruzioni per ciclo di clock moltiplicando gli esecutori più onerosi e facendoli operare in parallelo
- Una o più ALU ad aritmetica intera ed una a virgola mobile

## Pipeline

### *Pipeline super-scalare 2*

- Solo alcuni tipi di istruzioni possono essere effettivamente avviate in parallelo
  - Istruzioni **indipendenti**, con **limitati** accessi a memoria per ciclo di clock
  - Richiede **schedulazione** statica o dinamica
- Considerevole complessità **aggiuntiva** nella logica di controllo

## Pipeline

### *Pipeline superscalare 3*

- Condizioni di Bernstein per l'indipendenza
  - Computazione **sequenziale**  $C_s$   
 $f_1 : D_1 \rightarrow R_1 ; f_2 : D_2 \rightarrow R_2$
  - Computazione **parallela**  $C_p$   
 $f_1 : D_1 \rightarrow R_1 , f_2 : D_2 \rightarrow R_2$
  - $C_p \equiv C_s$  **se e solo se**:
    - $(R_1 \cap D_2 = \emptyset) \wedge (R_1 \cap R_2 = \emptyset) \wedge (R_2 \cap D_1 = \emptyset)$
  - La terza condizione diviene necessaria solo quando non si facciano ipotesi sulla durata delle operazioni e sul loro istante di inizio

## Pipeline

### *Schedulazione dinamica 1*

- La CPU **riordina dinamicamente** le istruzioni da avviare per ottimizzare l'utilizzo del pipeline, e poi **ripristina** l'ordine corretto dei risultati
- **Maggiore** è il numero di istruzioni riordinate avviate, **migliore** è l'efficienza, con aumento di complessità del control path e del data path
- **Out-of-order execution**

## Pipeline

### *Schedulazione dinamica 2*

L'avvio in parallelo di più istruzioni su più unità esecutive richiede l'uso di:

- Tabella delle annotazioni (**Scoreboard**)
  - Tabella **centralizzata** che tiene conto delle istruzioni da eseguire e delle risorse a disposizione
- Centrale di prenotazione (**Reservation station**)
  - Tecnica **distribuita** di inoltro di singole istruzioni alle varie unità, ciascuna **con coda di ingresso**