

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**