# Lezione R4

## Algoritmi priority-driven

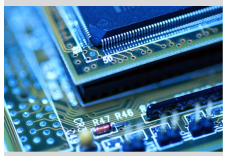
Sistemi embedded e real-time

30 ottobre 2012

Marco Cesati

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica
Università degli Studi di Roma Tor Vergata









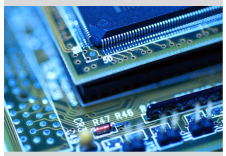
## Di cosa parliamo in questa lezione?

In questa lezione descriviamo i tipi di algoritmi più utilizzati per realizzare gli schedulatori dei sistemi real-time che fanno uso di priorità dei job

1. Algoritmi di tipo round-robin
2. Algoritmi di tipo priority-driven
3. Gli algoritmi EDF, LRT, LST
4. Gli algoritmi RM e DM

Algoritmi priority-driven

Marco Cesati

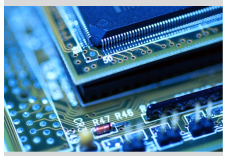


## Algoritmi round-robin

Un algoritmo di schedulazione è detto essere *round-robin* quando i job sono gestiti tramite code FIFO (First-In, First-Out)

- Un job è inserito in fondo ad una coda d'esecuzione quando esso diviene pronto per l'esecuzione (istante di rilascio)
- Dovendo scegliere un job tra quelli in attesa in una coda FIFO, lo scheduler seleziona quello in testa, ossia il primo inserito in ordine di tempo, e lo rimuove dalla coda
- Ogni job esegue al massimo per un intervallo di tempo predefinito chiamato *time slice* o *quantum*, poi se necessario viene interrotto ed inserito nuovamente in fondo alla coda
- Se nella coda vi sono $n$ job, un gruppo di $n$ time slice è chiamato *round*: ciascun job ottiene un time slice ogni round









## Algoritmi round-robin (2)

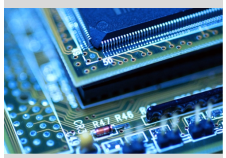
Un algoritmo di schedulazione round-robin è detto essere *pesato* (o *weighted*) se a job differenti possono essere assegnati pesi differenti che influiscono sulle quote di tempo di processore

- Un *round* è definito come il numero di time slice pari alla somma dei pesi di tutti i job in una coda
- Un job con peso $w$ ottiene $w$ time slice in ogni round
- I job con peso maggiore ottengono più tempo di processore di quelli con peso minore

*Quali sono i vantaggi degli scheduler round-robin?*

- Il sistema assegna il processore in maniera "equa" (ad es.: time sharing dei SO general-purpose)
- Lo scheduler utilizza semplici code FIFO, quindi è molto veloce (ha basso overhead)





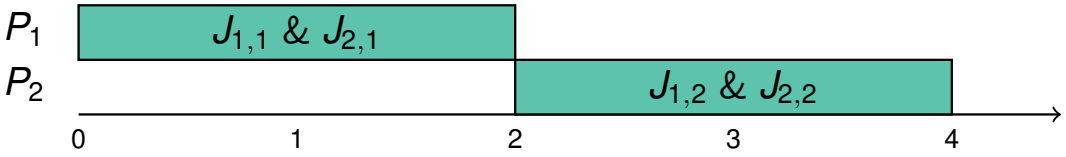
## Svantaggi degli algoritmi round-robin

*Quali sono i più evidenti svantaggi degli scheduler round-robin?*

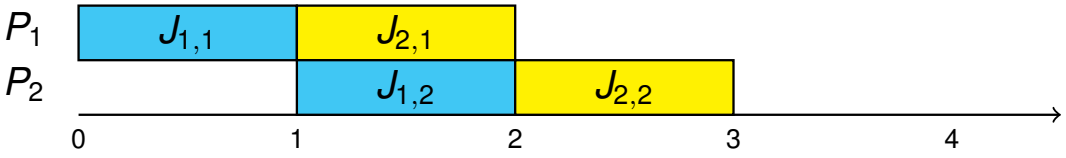
1) Non considerano eventuali scadenze dei job
2) Non gestiscono bene job con vincoli di precedenza

Esempio: quattro job con istante di rilascio 0 e tempo d'esecuzione 1: $J_{1,1} \prec J_{1,2}$, $J_{2,1} \prec J_{2,2}$ $J_{1,1}$ e $J_{2,1}$ eseguono sul processore $P_1$, $J_{1,2}$ e $J_{2,2}$ eseguono sul processore $P_2$

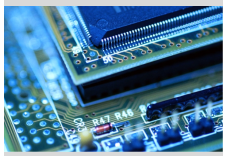
Con round-robin:




Senza round-robin:









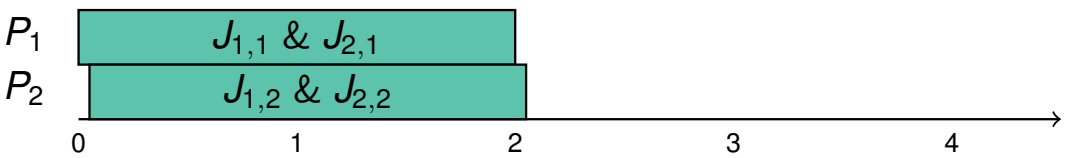
## Svantaggi degli algoritmi round-robin (2)

*Se i vincoli di precedenza sono un problema, perché gli algoritmi di tipo round-robin sono utilizzati soprattutto nei sistemi Unix in cui i processi sono spesso collegati tramite "pipe"?*

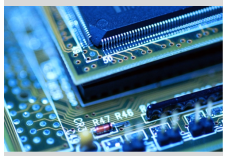
La dipendenza tra job di una "pipe" non è un vincolo di precedenza!

- In un vincolo di precedenza $J_a \rightarrow J_b$, $J_b$ non può iniziare prima del completamento di $J_a$
- In una pipe $J_a \mid J_b$, $J_b$ consuma i dati via via prodotti da $J_a$

Nell'esempio precedente, se al posto dei vincoli di precedenza si introducono due pipe $J_{1,1} \mid J_{1,2}$ e $J_{2,1} \mid J_{2,2}$:





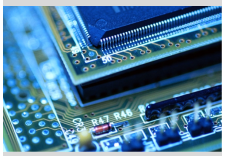
## Algoritmi priority-driven

Un algoritmo di schedulazione è detto *priority-driven* se ha la caratteristica di non lasciare mai intenzionalmente inutilizzato un processore o un'altra risorsa

Alcune caratterizzazione equivalenti degli algoritmi priority-driven:

- Una risorsa attiva (processore) o passiva è inutilizzata solo quando non esistono job che richiedono la risorsa pronti per l'esecuzione ($\longrightarrow$ algoritmi *work conserving*)
- Le decisioni dello scheduler vengono effettuate all'occorrenza di specifici eventi, ad es. un job diviene pronto per l'esecuzione ($\longrightarrow$ algoritmi *event driven*)
- Gli algoritmi di schedulazione prendono decisioni ottimali a livello locale, ossia del singolo processore o risorsa ($\longrightarrow$ algoritmi *greedy scheduling*)









## Modello di riferimento

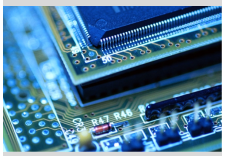
Studieremo alcuni algoritmi priority-driven utilizzando:

- Modello a task periodici (o sporadici)
- Numero di task prefissato
- Un singolo processore (od un sistema statico)
- Task indipendenti: nessun vincolo di precedenza e
- nessuna risorsa condivisa
- Nessun job aperiodico

Nel modello a task sporadici ciascun task è caratterizzato da un periodo corrispondente al minimo intervallo tra gli istanti di rilascio dei job

Più avanti alcuni di questi vincoli saranno rimossi





## Priorità

Ogni algoritmo priority-driven può essere realizzato assegnando dinamicamente valori numerici detti *priorità* ai job

La schedulazione dipende, oltre che dal modello del carico e del sistema, dalla lista dei job ordinata per priorità; quindi gli algoritmi sono anche chiamati *list scheduling*

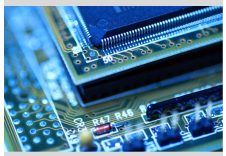
Molti scheduler non real-time sono priority-driven:

- algoritmi FIFO (First In First Out): priorità inversamente proporzionale all'istante di rilascio
- algoritmi LIFO (Last In First Out): priorità direttamente proporzionale all'istante di rilascio
- algoritmi SETF (Shortest Execution Time First): priorità inversamente proporzionale al tempo d'esecuzione
- algoritmi LETF (Longest Execution Time First): priorità direttamente proporzionale al tempo d'esecuzione

*Gli algoritmi round-robin sono priority-driven?* ***Sì!***

Possiamo pensare che la priorità di ogni job varia dinamicamente in funzione della sua posizione nella coda FIFO









## Tipi di priorità degli algoritmi

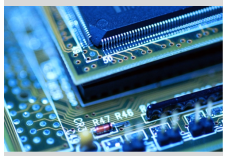
Gli algoritmi priority-driven possono essere:

- a *priorità fissa* (*fixed-priority*): la priorità di tutti i job di un task è identica; di conseguenza, la priorità è in effetti assegnata a ciascun task e non cambia
- a *priorità dinamica* (*dynamic-priority*): la priorità dei job di uno stesso task può cambiare

A propria volta, gli algoritmi a priorità dinamica possono essere di due sottotipi:

- dinamici a livello di task e statici a livello di job (*task-level dynamic-priority*): la priorità di un job già rilasciato e pronto per l'esecuzione non cambia
- dinamici a livello di job (*job-level dynamic-priority*): la priorità di un job può cambiare dopo il suo rilascio





## Algoritmi priority-driven fondamentali

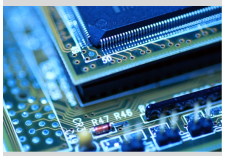
I tipi fondamentali di algoritmi priority-driven:

- FIFO: priorità invers. proporzionale all'istante di rilascio
- LIFO: priorità proporzionale all'istante di rilascio
- EDF: priorità invers. proporzionale alla scadenza assoluta
- LST: priorità invers. proporzionale allo slack dei job
- RM: priorità invers. proporzionale al periodo
- DM: priorità invers. proporzionale alla scadenza relativa

*Di che tipo sono questi algoritmi?*

- FIFO, LIFO: priorità dinamica a livello di task
- EDF: priorità dinamica a livello di task
- LST: priorità dinamica a livello di job
- RM, DM: priorità statica









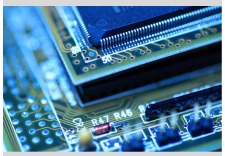
## Algoritmi ottimali su singolo processore

- EDF (Earliest Deadline First): la priorità dei job è direttamente proporzionale alla vicinanza della scadenza
- LRT (Latest Release Time): è l'inverso di EDF, poiché inverte i ruoli degli istanti di rilascio e delle scadenze e schedula i job iniziando dall'ultima scadenza fino al presente
- LST (Least Slack Time First) o MLF (Minimum Laxity First): la priorità è inversamente proporzionale alla *slack* dei job, ossia il valore ottenuto sottraendo dalla scadenza del job il tempo presente ed il tempo richiesto per completare il job

**Teorema**

Avendo un solo processore, job interrompibili (con preemption), e nessuna contesa sulle risorse condivise, gli algoritmi EDF, LRT e LST producono una schedulazione fattibile di un insieme di job con vincoli temporali arbitrari se e solo se tale insieme di job è schedulabile





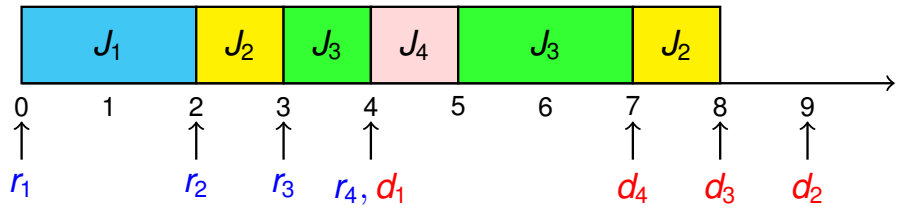
# Esempio di schedulazione di EDF

Job interrompibili $J_1, \ldots J_4$:

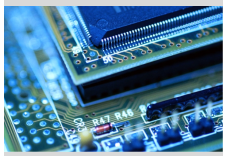
| $i$ | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| $r_i$ | 0 | 2 | 3 | 4 |
| $d_i$ | 4 | 9 | 8 | 7 |
| $e_i$ | 2 | 2 | 3 | 1 |

Lavoro da compiere:

| $\overline{e}$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $J_1$ | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $J_2$ | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| $J_3$ | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| $J_4$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |









# Algoritmo LRT

- L'algoritmo di schedulazione LRT (Latest Release Time) inverte il ruolo degli istanti di rilascio e delle scadenze, e schedula i job partendo dall'ultima scadenza fino al presente
- L'algoritmo è anche noto come *EDF inverso*
- La priorità assegnata ad un job è proporzionale al suo istante di rilascio: più avanti è l'istante di rilascio, maggiore è la priorità

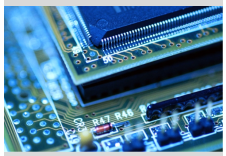
*Qual è il vantaggio di LRT rispetto a EDF?*

LRT cerca di completare i job in corrispondenza della loro scadenza, quindi è meno aggressivo nell'uso del processore e riduce l'incertezza sull'istante di completamento dei job

*È un algoritmo di tipo priority-driven?* ***No!***

L'algoritmo potrebbe lasciare un processore inutilizzato anche in presenza di job pronti per l'esecuzione





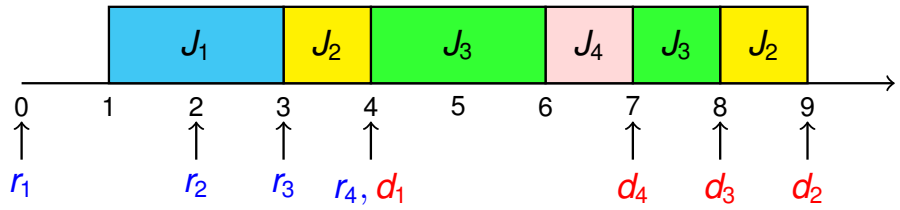
## Esempio di schedulazione di LRT

Job interrompibili $J_1, \ldots J_4$:

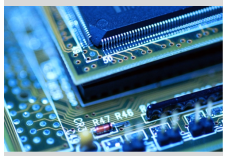
| $i$ | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| $r_i$ | 0 | 2 | 3 | 4 |
| $d_i$ | 4 | 9 | 8 | 7 |
| $e_i$ | 2 | 2 | 3 | 1 |

Lavoro compiuto:

| $\xi$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $J_1$ | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $J_2$ | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| $J_3$ | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| $J_4$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |









## Algoritmo LST

- Il valore di slack di un job è la differenza tra l'istante di scadenza e la somma del tempo attuale e del tempo ancora occorrente per completare l'esecuzione
- L'algoritmo LST assegna priorità più alta ai job aventi valore di slack minore

*Qual è la logica di questo algoritmo?*

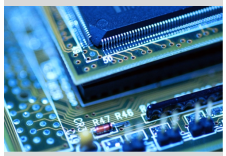
Lo slack è una misura di quanto tempo un job può permettersi di non essere eseguito senza mancare la propria scadenza

*Qual è lo svantaggio di LST rispetto a EDF e LRT?*

LST richiede di conoscere in anticipo i tempi di esecuzione (massimi) di tutti i job

Questa condizione è spesso molto difficile da rispettare





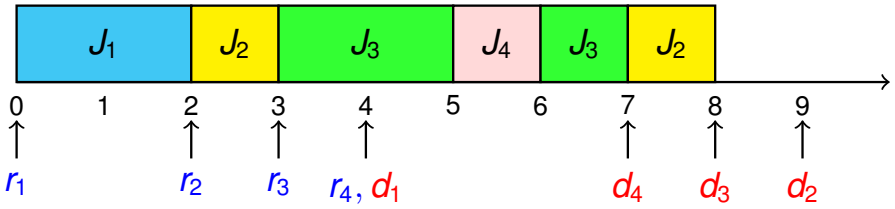
## Esempio di schedulazione di LST

Job interrompibili $J_1, \ldots J_4$:

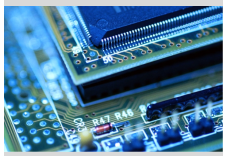
| $i$ | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| $r_i$ | 0 | 2 | 3 | 4 |
| $d_i$ | 4 | 9 | 8 | 7 |
| $e_i$ | 2 | 2 | 3 | 1 |

Lavoro da compiere & slack:

| $\overline{e}; s$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $J_1$ | 2;2 | 1;2 | 0;2 | 0;1 | 0;0 | 0;-1 | 0;-2 | 0;-3 | 0;-4 | 0;-5 |
| $J_2$ | 2;7 | 2;6 | 2;5 | 1;5 | 1;4 | 1;3 | 1;2 | 1;1 | 0;1 | 0;0 |
| $J_3$ | 3;5 | 3;4 | 3;3 | 3;2 | 2;2 | 1;2 | 1;1 | 0;1 | 0;0 | 0;-1 |
| $J_4$ | 1;6 | 1;5 | 1;4 | 1;3 | 1;2 | 1;1 | 0;1 | 0;0 | 0;-1 | 0;-2 |









## Varianti della schedulazione LST

Nell'algoritmo LST (Least Slack Time) la priorità di un job è inversamente proporzionale al valore di slack $d - t - x$ ($d$ = scadenza assoluta, $t$ = tempo corrente, $x$ = tempo d'esecuzione rimanente)

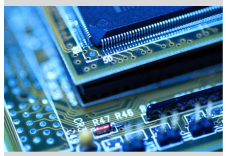
In realtà ne esistono due varianti:

- Nonstrict LST: lo scheduler è invocato e le priorità dei job sono cambiate solo come conseguenza del rilascio o della conclusione di un job, o di un tick periodico
- Strict LST: le priorità sono modificate continuamente, e lo scheduler è invocato ogni volta che un job acquisisce una priorità maggiore di quella del job in esecuzione

L'algoritmo strict LST è utilizzato raramente perché

- è più complesso
- ha un overhead maggiore dovuto all'aggiornamento dei valori di slack e ai context switch

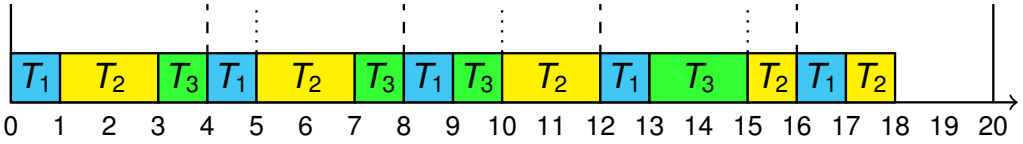




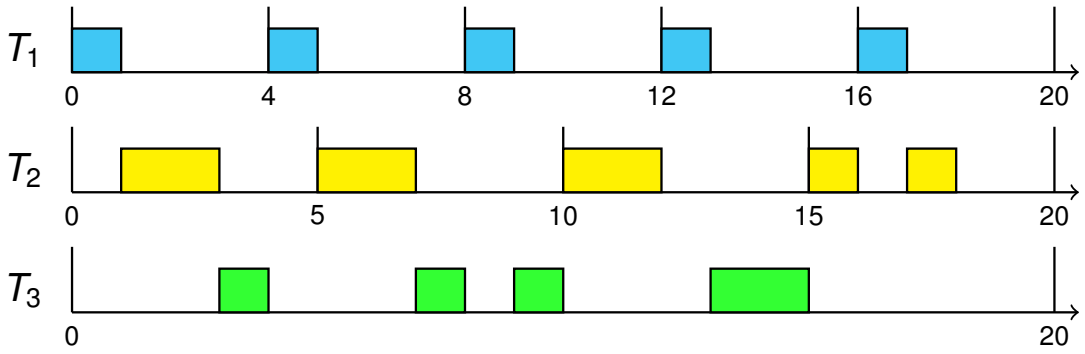
## Algoritmo Rate Monotonic (Liu, Layland 1973)

L'algoritmo Rate Monotonic (RM) assegna la priorità di un task in modo proporzionale alla sua frequenza (*rate*), definita come l'inverso del suo periodo

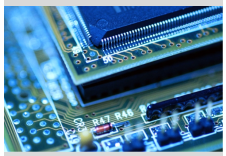
Esempio: $T_1 = (4, 1)$, $T_2 = (5, 2)$, $T_3 = (20, 5)$, interrompibili




Rappresentazione alternativa:





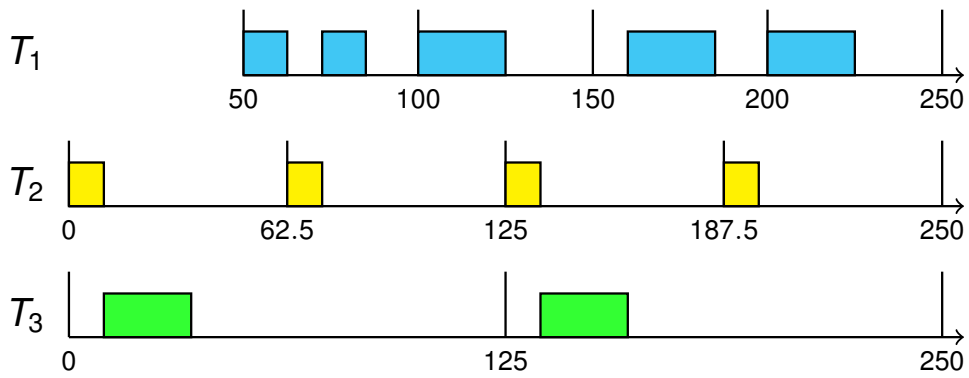




## Algoritmo Deadline Monotonic (Leung, Whitehead 1982)

Nell'algoritmo Deadline Monotonic (DM) la priorità di un task è inversamente proporzionale alla sua scadenza relativa

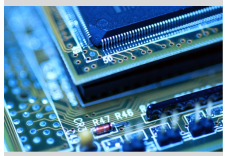
Esempio: $T_1 = (50, 50, 25, 100)$, $T_2 = (0, 62.5, 10, 20)$, $T_3 = (0, 125, 25, 50)$, interrompibili




*In quale caso gli algoritmi RM e DM coincidono?*

Nel caso: deadline relativa proporzionale al periodo



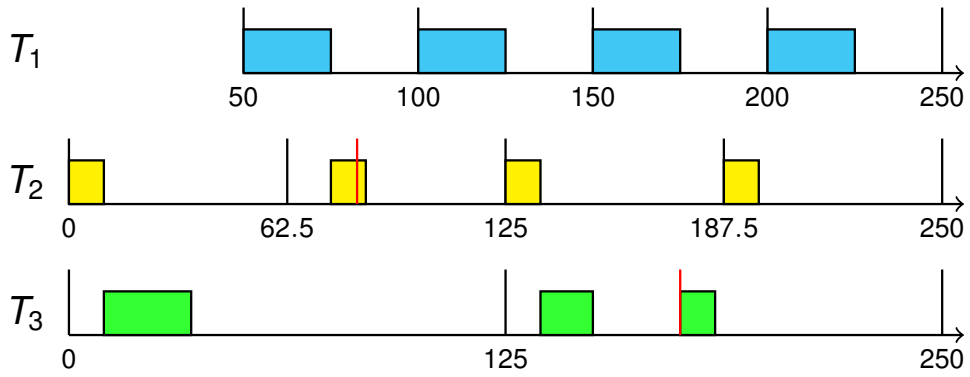


## Algoritmo DM migliore di RM

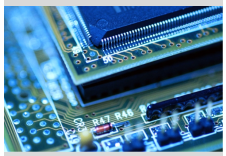
In generale, l'algoritmo DM è migliore di RM:

- Se la schedulazione DM non è fattibile, anche la schedulazione RM non è fattibile
- Esistono esempi in cui la schedulazione DM è fattibile mentre la schedulazione RM non è fattibile

Nell'esempio precedente, la schedulazione RM non è fattibile:





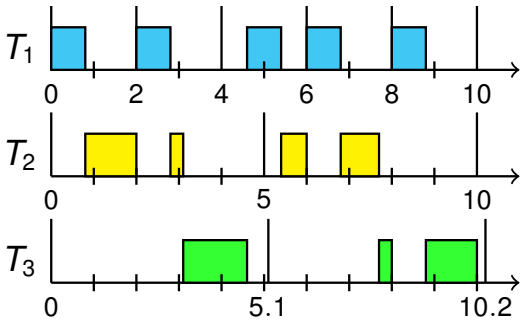




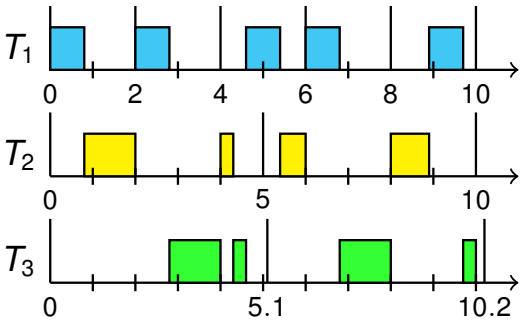
## Confronto tra algoritmi di schedulazione

Siano $T_1 = (2, 0.8)$, $T_2 = (5, 1.5)$, $T_3 = (5.1, 1.5)$ interrompibili

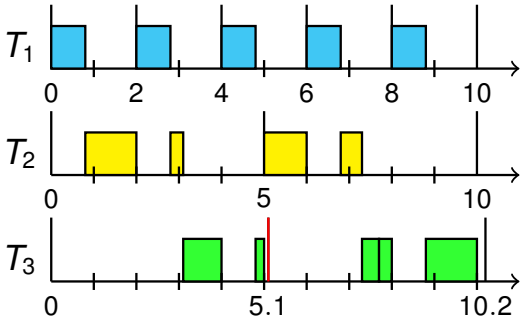
EDF




Nonstrict LST




RM/DM




Strict LST