SINTESI DI ALCUNI MODELLI DI SCHEDULING

TERMINOLOGIA

JOB= lotto di item (codice articolo) che deve essere lavorato nel sistema

ROUTING= ciclo di lavorazione (tecnologico) del job inteso come sequenza di singole macchine da visitare e relativi tempi di lavorazione

SHOP = sistema produttivo considerato

LE TECNICHE UTILIZZATE

TECNICHE DI OTTIMIZZAZIONE

Consentono l'ottenimento della miglior soluzione possibile in rapporto all'obiettivo posto ed ai vincoli considerati. Si distinguono le seguenti categorie:

*metodi ANALITICI*: forniscono la soluzione ottima attraverso la risoluzione di una formula, solitamente costituita da un sistema di equazioni (algebriche o differenziali). Si suddividono a loro volta, a seconda della natura delle variabili decisionali, in:

- ***metodi CONTINUI*, che prevedono la ricerca delle soluzioni in un dominio continuo delle variabili decisionali. A seconda della natura delle equazioni risolutive essi possono essere *algebrici* o *differenziali*; esempi di applicazioni: TEORIA DEL CONTROLLO.**
- ***metodi DISCRETI*, che svolgono la ricerca delle soluzioni in un dominio discreto delle variabili decisionali.**

***metodi ALGORITMICI*: non si sviluppano attraverso la risoluzione di sistemi di equazioni, ma attraverso l'esecuzione sistematica di una serie di passi organizzati in un algoritmo. Si distinguono:**

- ***metodi ENUMERATIVI*, che permettono il raggiungimento della soluzione ottima confrontando tra loro le soluzioni accettabili e scegliendo la migliore. Esistono metodi *espliciti* (tutte le soluzioni accettabili sono esplicitamente esaminate) ed *impliciti* (si esaminano solo le soluzioni che potrebbero essere ottimali); esempi di applicazione: BRANCH & BOUND, PROGRAMMAZIONE DINAMICA**
- ***metodi DI CALCOLO*, che pervengono alla soluzione ottimale attraverso l'utilizzo di opportune tecniche risolutive di calcolo numerico; esempi di applicazione: METODO DEL SIMPLESSO.**

METODI EURISTICI

Non assicurano l'ottenimento della soluzione migliore in rapporto all'obiettivo posto. Assicurano invece l'ottenimento di una soluzione ragionevolmente buona in relazione a tale obiettivo. Si distinguono le seguenti categorie:

***metodi per SOSTITUZIONE DI OBIETTIVI*. Operano la sostituzione dell'obiettivo posto con un secondo obiettivo, che abbia le seguenti proprietà:**

- **una dipendenza dalle variabili decisionali meno complessa;**
- **l'ottimizzazione del secondo obiettivo porti necessariamente ad una soluzione buona anche per il primo.**

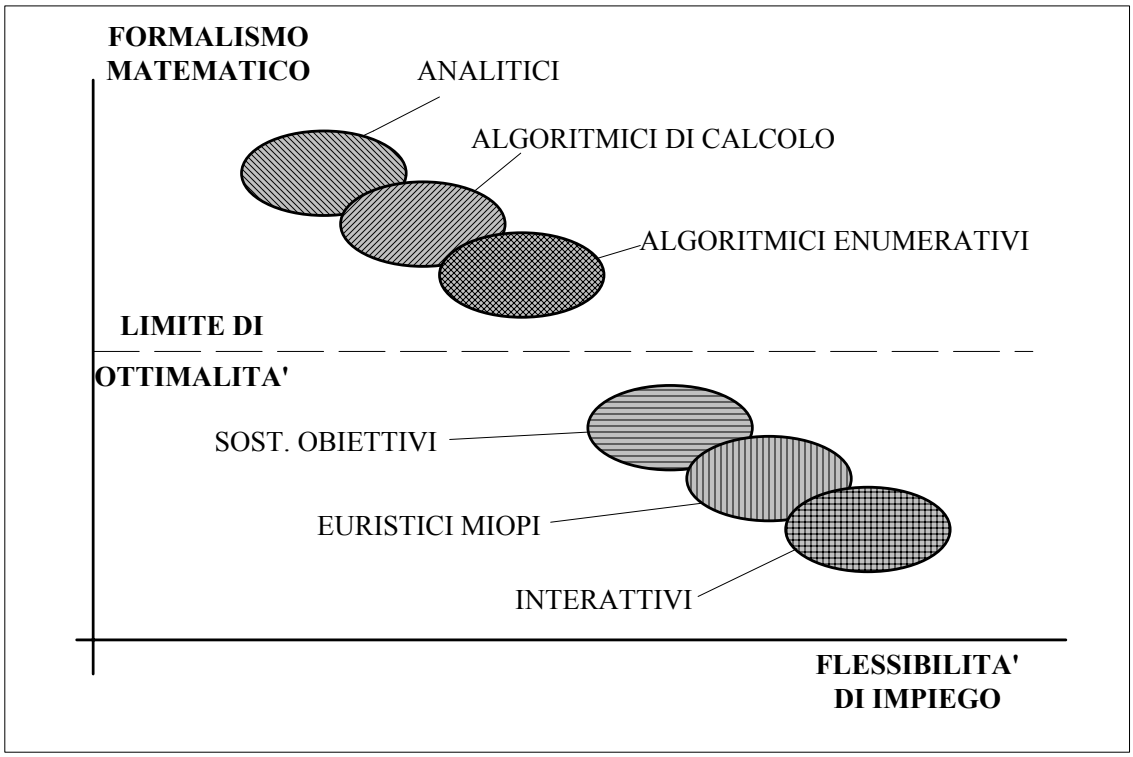
esempio: si massimizza il bilanciamento dei carichi invece di minimizzare il makespan

***Metodi MIOPI*. Si basano sull'ipotesi che trascurare alcune delle interazioni tra variabili non peggiori in modo rilevante la bontà del risultato trovato. Si distinguono metodi:**

- ***miopi RISPETTO ALLO SPAZIO*, che esplorano solo alcune delle soluzioni alternative accettabili (neighborhood search);**
- ***miopi RISPETTO AL TEMPO*, scindono il probelma in sottoproblemi più semplici, che vengono risolti separatamente ricercando ogni volta la soluzione ottima sino a quel momento (hill-climbing).**

***Metodi INTERATTIVI*. Si basano sulla costruzione progressiva di una soluzione attraverso l'intervento umano. Possono prevedere un supporto informativo, in grado -ad esempio- di avvertire il pianificatore se le decisioni via via prese non sono compatibili con i vincoli del problema e di valutare via via la bontà della soluzione identificata; esempio: SAMPSON GAME**

CONFRONTO TRA TECNICHE RISOLUTIVE



APPROCCI RISOLUTIVI

Dal punto di vista pratico, gli approcci risolutivi ai problemi di scheduling possono suddividersi in due grandi classi:

1. **Approcci di *programmazione operativa*. Questi approcci cercano di risolvere a priori e completamente i 3 problemi dello scheduling (con cosa, quando ed in che ordine produrre). Vengono cioè realizzati una volta per tutte dei piani produttivi di grande dettaglio. A loro volta tali approcci possono essere suddivisi secondo la classificazione già proposta.**

2. ***Approcci di controllo della produzione* (o *regole di carico*). Questi approcci si propongono di operare le scelte produttive di breve termine via via che queste sono richieste, con il fine di muoversi nella direzione dell'obiettivo prescelto. Questi approcci sono quasi sempre di tipo euristico.**

MODELLO DI KARG-THOMPSON

sistema: **macchina singola;**

portafoglio ordini disponibile al tempo 0;

preemption non consentita;

setup dipendenti dalla sequenza.

obiettivo: minimizzazione tempo di setup (= minimizzazione makespan).

metodo: euristico miope nel tempo.

Soluzione:

step 1: selezionare casualmente 2 job;

step 2: selezionare un altro job e provare a disporlo in ogni posizione della sequenza corrente, calcolando il corrispondente tempo di attrezzaggio;

step3: allocare il nuovo job nella posizione in cui genera il tempo di

step 4: se ci sono altri job da allocare, passare allo step 2; altrimenti STOP.

MODELLO DI HODGSON

sistema: **macchina singola;**

portafoglio ordini disponibile al tempo 0;

preemption non consentita;

setup nulli o indipendenti dalla sequenza.

obiettivo: **minimizzazione del numero di jobs in ritardo.**

metodo: **ottimizzante algoritmico.**

Soluzione:

step 1: **si pongono tutti i job da 1 a N in portafoglio in ordine di data di consegna crescente;**

step 2: **si confrontano le date di consegna con gli istanti di fine lavorazione dei jobs. Se nessun job è in ritardo => STOP. Altrimenti, identificare il primo job k in ritardo nella sequenza.**

step 3: **identificare il job della sottosequenza 1-k con il massimo tempo di lavorazione. Estrarlo dalla sequenza e ritornare in 2.**

MODELLO DI JOHNSON

sistema: **flow shop di 2 macchine;**

portafoglio ordini di N jobs disponibile al tempo 0;

preemption non ammessa; passing non ammesso.

setup nulli o indipendenti dalla sequenza.

obiettivo: **minimizzazione del makespan.**

metodo: **ottimizzante algoritmico.**

Soluzione:

step 0: **Porre i = 1.**

step 1: **Analizzare tutti i jobs in portafoglio e determinare il job j1 tale che $t1_{j1} = \min t1_j$ (j = 1,N);**

step 2: **Analizzare tutti i jobs in portafoglio e determinare il job j2 tale che $t2_{j2} = \min t1_j$ (j = 1,N);**

step 3: **Selezionare tra questi il job k con il tempo di lavorazione minimo in una delle due fasi.**

step 4: **Se il minimo tempo di lavorazione trovato è sulla prima macchina, allocare k alla posizione i della sequenza; altrimenti, allocarlo alla posizione N - i + 1.**

setp 5: **Cancellare k dal portafoglio. Se rimangono ancora jobs in portafoglio, proseguire dallo step 1; altrimenti STOP.**

MODELLO DI CAMPBELL, DUDEK E SMITH

sistema: **flow shop di M macchine;**

portafoglio ordini di N jobs disponibile al tempo 0;

preemption non ammessa; passing non ammesso.

setup nulli o indipendenti dalla sequenza.

obiettivo: **minimizzazione del makespan.**

metodo: **euristico per sostituzione di obiettivi.**

Soluzione:

step 1: **generare M-1 sistemi flow shop a 2 macchine fittizi, sommando i tempi di lavorazione t_{jk} (job j su macchina k) come illustrato di seguito:**

$$t'_{j1} = S_{k=1,L}\, t_{jk} \qquad (L = 1,M-1)$$

$$t'_{j2} = S_{k=1,L}\, t_{jM-k+1} \qquad (L = 1,M-1)$$

step 2: **per ciascun valore di k, risolvere il problema fittizio applicando il modello di Johnson ai tempi t'_{j1} e t'_{j2}; determinare il makespan ottimo MAK_k.**

step 3: **identificare la sequenza migliore tra tutte quelle esaminate, scegliendo quella di makespan minimo.**

CONTROLLO DEL CARICO (MODELLO DI BECHTE)

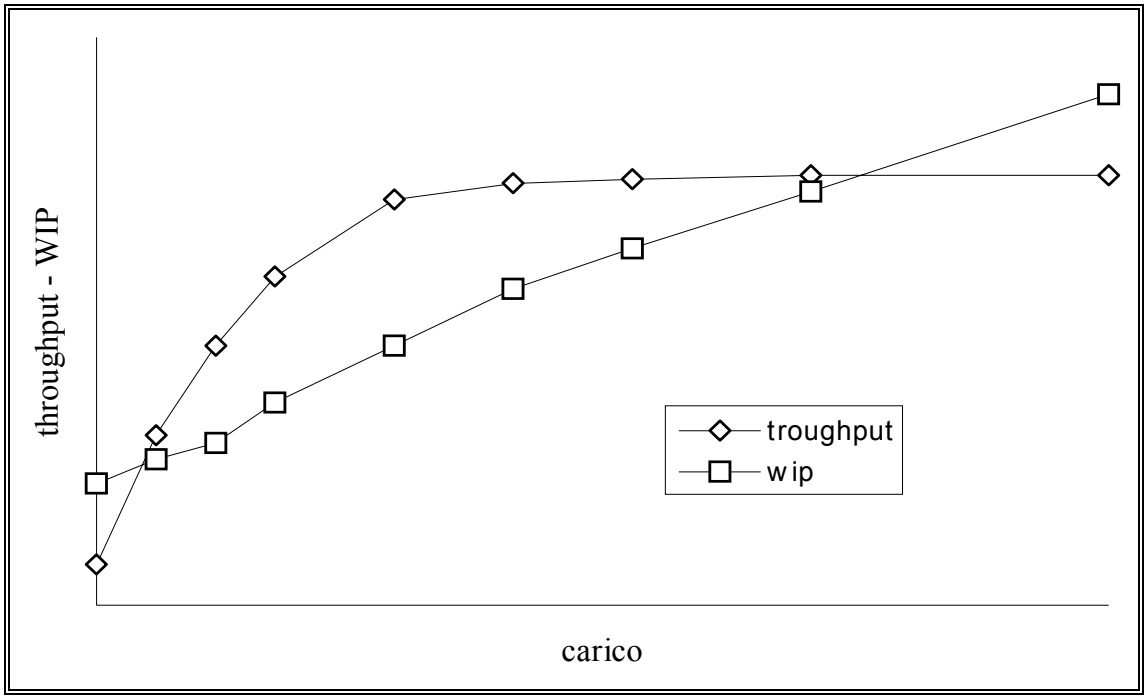
sistema: Job Shop generico.

Obiettivi:

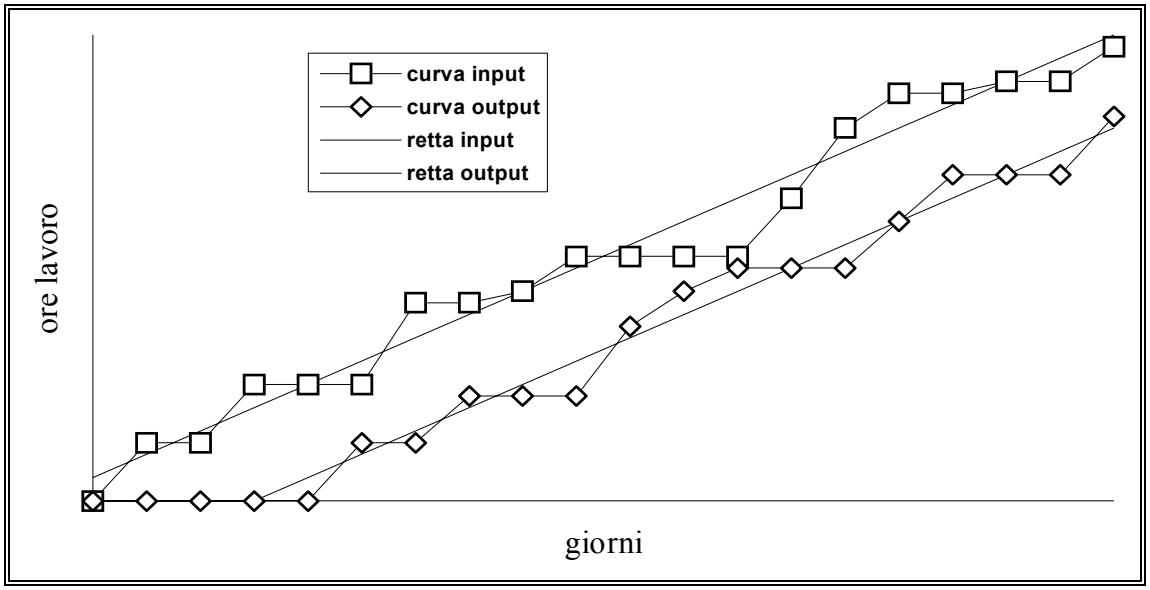
autoregolazione del sistema rispetto al consumo da valle;

bilanciamento dei carichi di lavoro alle stazioni di lavorazione;

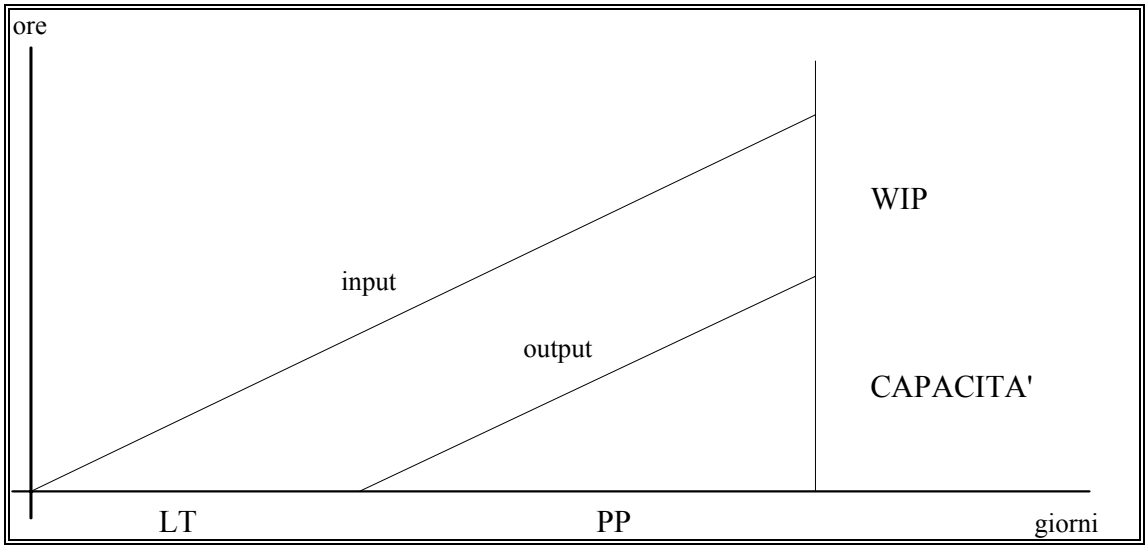
controllo delle scorte di processo e dei carichi di lavoro in ingresso.



CONTROLLO DI UN CENTRO DI LAVORO:
CURVE DI INPUT-OUTPUT



CONTROLLO DI UN CENTRO DI LAVORO:
LIMITE DI CARICO



LT lead time pianificato del centro di lavoro;

WIP work in progress pianificato al centro di lavoro;

PP periodo di pianficazione scelto.

In base al lead time pianificato per il centro, si definisce il *limite di carico* LL del centro, espresso come percentuale della capacità pianificata nel periodo:

LL = 100 * (PP + LT) / PP = 100 * (CAPACITA' + WIP) / CAPACITA'

LL viene usato come *limitatore del carico di lavoro* immesso nel sistema. Mantenendo il carico di lavoro del centro in un'intorno di LL, viene garantito il mantenimento del LT e del WIP pianificati.

CONTROLLO DI UN CENTRO DI LAVORO:
CONVERSIONE DEL CARICO

Ad un centro, si ha:
Carico totale = carico attuale + carico in transito

attuale: **carico generato dai jobs correntemente in attesa al centro;**

in transito: **carico generato dai jobs, correntemente in attesa ad altri centri del sistema, e che richiederanno di essere lavorati nel centro in oggetto.**

Il carico in transito viene deprezzato, per tenere conto che potrebbe essere rilasciato al centro anche dopo il periodo corrente di pianificazione:
carico in transito = ore macchina * probabilità che venga rilasciato dal centro dove correntemente si trova al centro corrente entro il periodo di pianificazione in corso.

PROBABILITA' DI RILASCIO:

La probabilità che un job j venga rilasciato da un centro m al centro successivo m+1, entro il periodo di pianificazione corrente può essere espressa come:

$P_{jm,m+1}$ = capacità pianificata di m / carico pianificato di m

Se tutti i centri di lavoro sono gestiti con un carico controllato esso può essere approssimato con LL. Sostituendo nell'equazione precedente, si ottiene:

$P_{jm,m+1}$ = 100 / LLm

Per estensione, la probabilità che un job venga rilasciato durante il periodo di pianificazione corrente da un centro m ad un centro n vale:

$P_{jm,n}$ = Produttoria i=m..n (100 / LLi)

PROCEDURA DI RILASCIO

1. **Sia O la lista di tutti gli ordini di produzione pervenuti a partire dall'ultima procedura di rilascio e per i quali siano realizzate le condizioni di rilascio (materiali, attrezzature, cicli, ... disponibili).**
2. **Calcolare, per ciascun ordine in O la data di previsto rilascio, sottraendo alla data di consegna richiesta la somma dei LT pianificati a tutti i centri che l'ordine dovrà attraversare.**
3. **Disporre O per ordine crescente di data di previsto rilascio e posizionarsi sul primo ordine.**
4. **Calcolare il carico corrente dei centri di lavoro del sistema.**
5. **Calcolare il carico indotto ai vari centri del sistema dal rilascio dell'ordine in esame.**
6. **Se, per ciascun centro esaminato, la somma del carico già presente + il carico rilasciato <= LL allora rilasciare l'ordine in esame ed aggiornare il carico dei centri di lavoro.**
7. **Se l'ordine appena esaminato è l'ultimo della lista, allora andare al punto 8. Altrimenti, posizionarsi sul prossimo ordine e proseguire con il punto 5.**
8. **Stop.**

REGOLE DI CARICO

Le regole di carico operano scegliendo via via, tra i jobs in attesa di lavorazione, quelli da far proseguire nel flusso produttivo inviandoli in lavorazione. Tale decisione complessiva può essere scissa in quattro momenti principali, tra loro interconnessi ma separabili sotto un profilo tanto logico quanto spazio-temporale:

1. ***Timing*: la decisione relativa a quando i nuovi ordini di produzione debbano essere rilasciati al sistema produttivo che li deve processare.**
2. ***Loading*: la decisione relativa a quali e quanti jobs rilasciare al sistema produttivo nell'istante stabilito.**
3. ***Dispatching*: la decisione di quale job (tra quelli correntemente in attesa di lavorazione) debba essere lavorato non appena la macchina si libera.**
4. ***Routing*: la decisione di quale sia la risorsa produttiva alla quale un determinato job debba essere inviato dopo aver concluso l'operazione precedente, se esistono alternative.**

REGOLE DI LOADING E DISPATCHING

Le regole di loading e dispatching possono essere classificate secondo i seguenti profili d'analisi:

1. ***modalità di assegnazione* della priorità ai jobs in attesa. Si distinguono le seguenti classi:**
   - **Regole che considerano i tempi di lavorazione o di setup;**
   - **Regole che considerano la data di consegna;**
   - **Regole che considerano i tempi di lavorazione e la data di consegna;**
   - **Regole che considerano la situazione dell'impianto;**
   - **Regole che considerano la situazione dei jobs;**
   - **Regole composte.**

2. ***modalità di aggiornamento* della priorità ai jobs Si distinguono *regole statiche* (la priorità reciproca di 2 jobs non cambia con l'evoluzione del sistema) e *regole dinamiche* (la priorità cambia con l'evoluzione del sistema).**

3. ***origine delle informazioni utilizzate*. Si individuano *regole locali*, che utilizzano solo informazioni provenienti dalla macchina da caricare; *regole globali*, che utilizzano informazioni provenienti anche da altre macchine.**

REGOLA SPT
Shortest Processing Time

Classificazione:

Considera il tempo di lavorazione; statica; locale.

Obiettivo:

Minimizzazione dei tempi medi di attesa.

Funzionamento:

Viene assegnata la massima priorità al job dotato del minimo tempo di lavorazione sulla macchina in oggetto.

Problemi:

I job con tempi di lavorazione lunghi sono sempre svantaggiati rispetto a quelli con tempi più brevi: la regola è *unfair*. Si sviluppano variazioni ragguardevoli nei flow times di jobs di tipo diverso.

REGOLA FIFO
First In First Out

Classificazione:

Considera lo stato dei jobs; dinamica; locale.

Obiettivo:

Minimizzazione della deviazione standard del flow time.

Funzionamento:

Viene assegnata la massima priorità al job che è arrivato prima alla coda corrente.

REGOLA EDD
Earliest Due Date

Classificazione:

Considera la data di consegna; statica; locale.

Obiettivo:

Massimizzare il rispetto delle date di consegna.

Funzionamento:

Viene assegnata massima priorità al job con data di consegna inferiore.

Problemi:

Rischia di eseguire valutazioni erronee non tenendo in considerazione i tempi di lavorazione.

REGOLA OPNDD
Operation Due Date

Classificazione:

Considera i tempi di lavorazione e la due date; statica; globale.

Obiettivo:

Massimizzare il rispetto delle date di consegna.

Funzionamento:

Il tempo intercorrente tra l'arrivo di un ordine al sistema di produzione e la data di consegna viene suddiviso in tanti intervalli quante sono le operazioni produttive richieste dall'ordine in esame. La durata degli intervalli è calcolata in modo tale da essere proporzionale al corrispondente tempo tecnico di lavorazione e che la loro somma sia pari al tempo totale a disposizione.

Il termine di ciascun intervallo viene assunto come data di consegna della fase produttiva corrispondente (OPNDD).

Viene assegnata la massima priorità al job con il minimo valore di OPNDD.

REGOLA S/OPN
Slack per Operation

classificazione:

Considera i tempi di lavorazione e la due date; dinamica; globale.

Obiettivo:

Massimiare il rispetto delle date di consegna.

Funzionamento:

Per ciascun job j ed in ciascun istante t viene calcolato il *tempo di slack* applicando la formula:

SLACKjt = due date di j - t - somma tempi di lavorazione residui di j in t

Tale tempo viene diviso per il numero residuo di operazioni ancora da svolgere su j in t:

S/OPNjt = SLACKjt / numero operazioni residue di j in t.

Vie e attribuita la massima priorità al job j dotato del minimo valore di S/OPNjt.

REGOLA MSETUP
Minimum Setup Time

Classificazione:

Considera i tempi di setup. Dinamica. Locale.

Obiettivo:

Minimizzare i tempi globali di setup.

Funzionamento:

Viene assegnata la massima priorità al job che abbia il minimo tempo di setup con quello attualmente in lavorazione.