



SAMOPROS

Studio, Analisi, comparazione e
pre-validazione di metodologie e
Modelli per l'Ottimizzazione del
processo di PROduzione di
Stampi

Paolo Nesi (DISIT Unifi).



PARTNER

- ELEXA
- DSI, Università degli Studi di Firenze,
DISIT Lab, Paolo Nesi
- CESVIT, CQ_ware, High-Tech Agency





Obiettivo realizzativo

Sistemi di produzione di stampi

- Studio, verifica e realizzazione di un ottimizzatore
- Studio e definizione di adeguate politiche di gestione per il processo di produzione
- Studio e creazione di un supporto distribuito che integri i punti precedenti

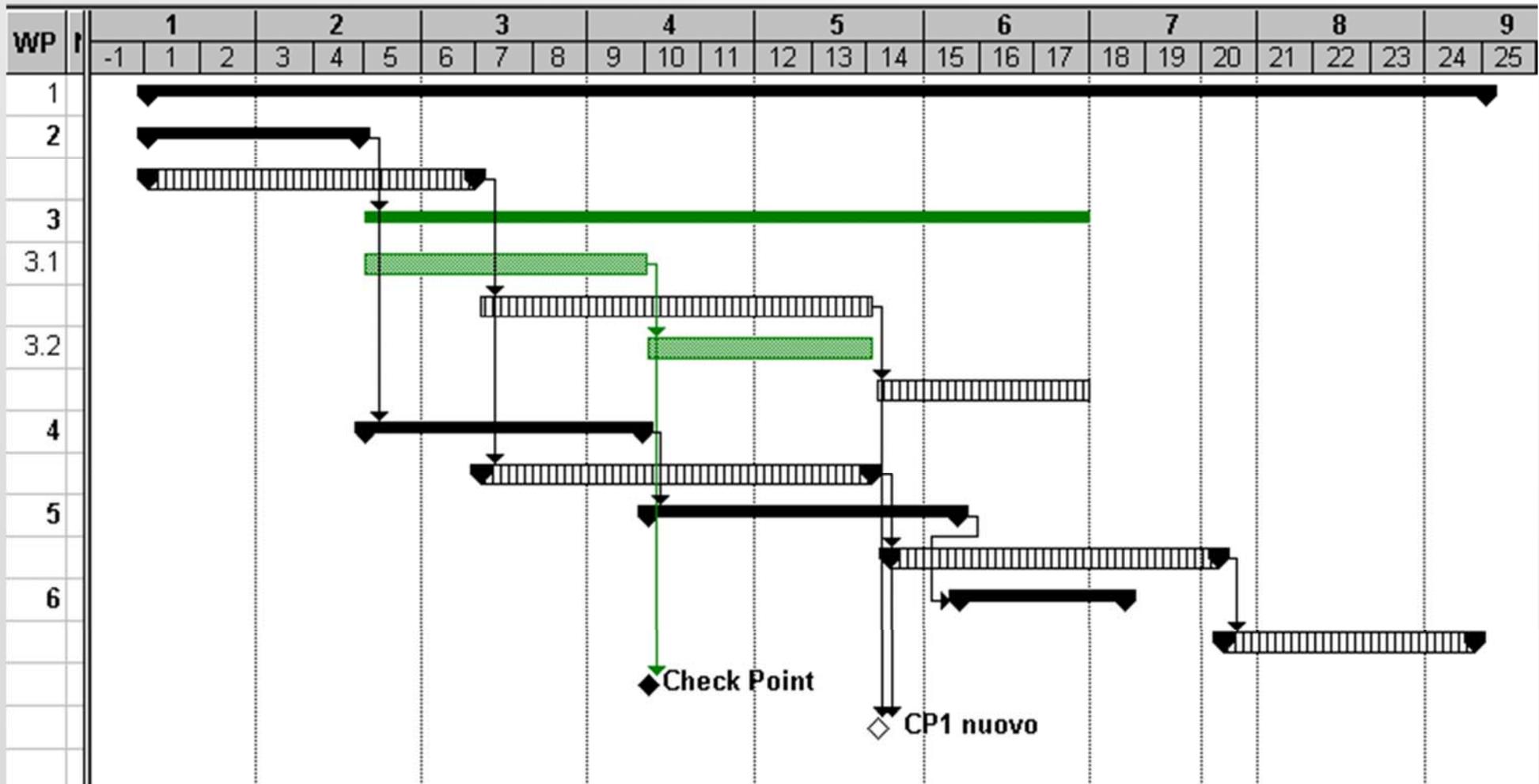


Primo Check Point

- **WP2-SP-**Analisi dei requisiti Generali
- **WP3.1-RI-** Studio di politiche di ottimizzazione per la gestione della produzione
- **WP4 -SP-** Progettazione e codifica del prototipo di gestore del processo di produzione



Gantt Diagram

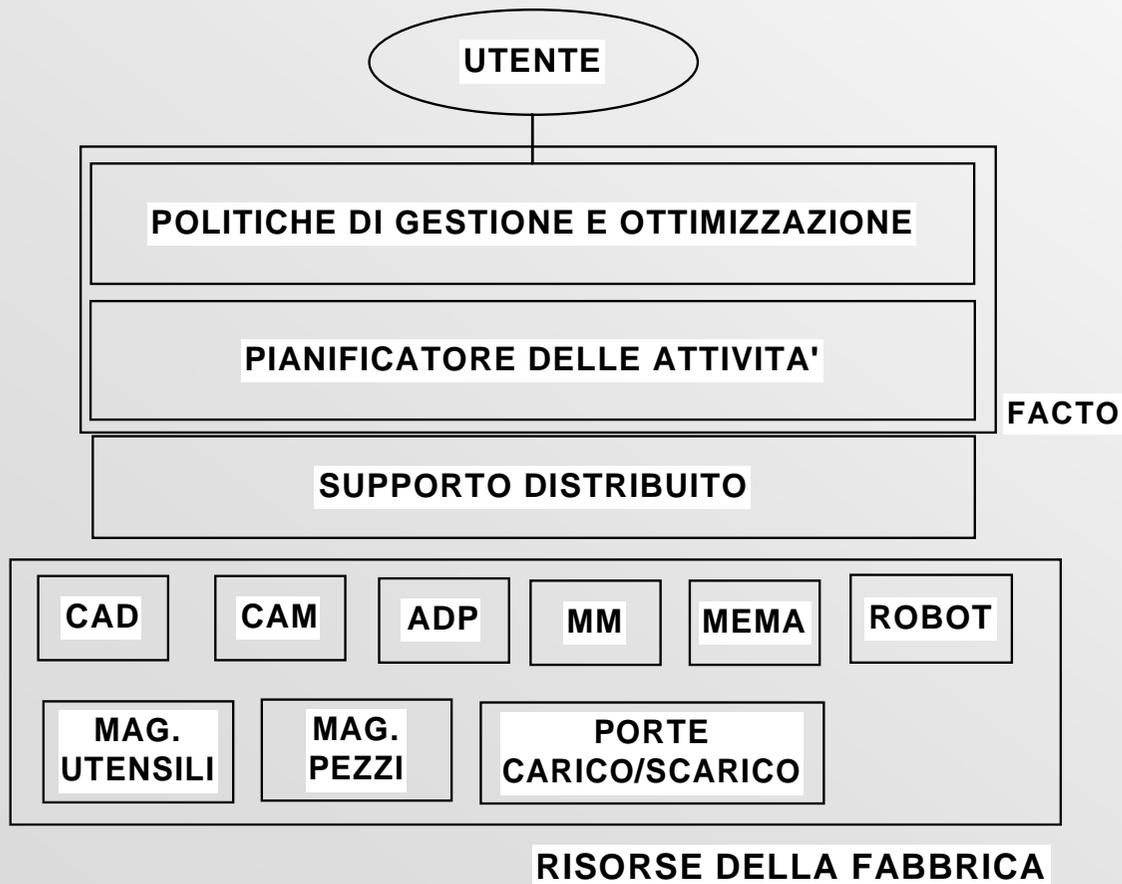




WP 2- Analisi dei requisiti e di Dettaglio

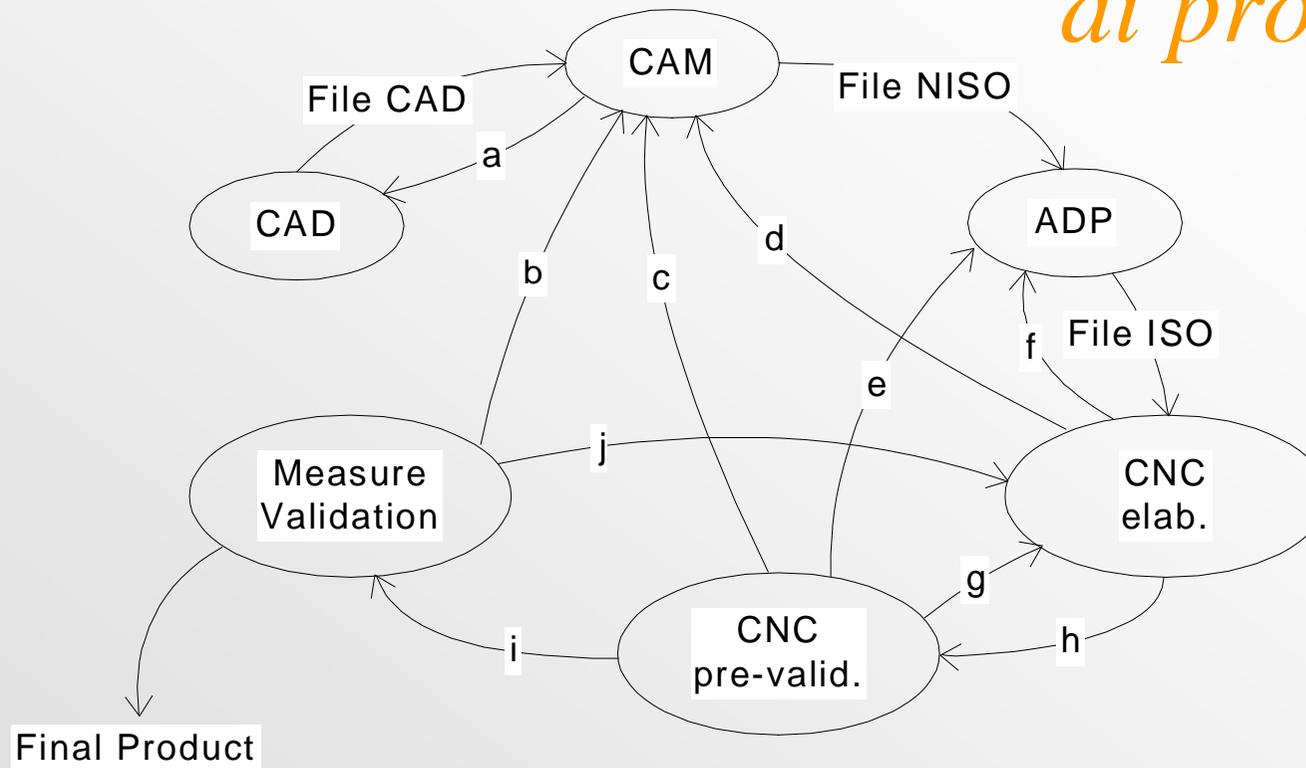
- WP 2.1 Analisi requisiti generali
- WP 2.2 Analisi dell'architettura generale in base alle necessita` dell'utente finale
- WP 2.3 Definizione di massima del modello funzionale del processo di produzione
- WP 2.4 Analisi strutturale dell'architettura Client-Server
- WP 2.5 Analisi ad Oggetti del dominio del problema

WP 2.2 Analisi architettura in base necessita` utente finale



- Integrazione delle aree CAD/CAM con l'area di produzione e validazione
- Supporto distribuito che tenga conto dell'eterogeneità delle risorse della fabbrica
- Inserimento dei lavori da eseguire con ottimizzazione del piano di produzione ed esecuzione dello stesso

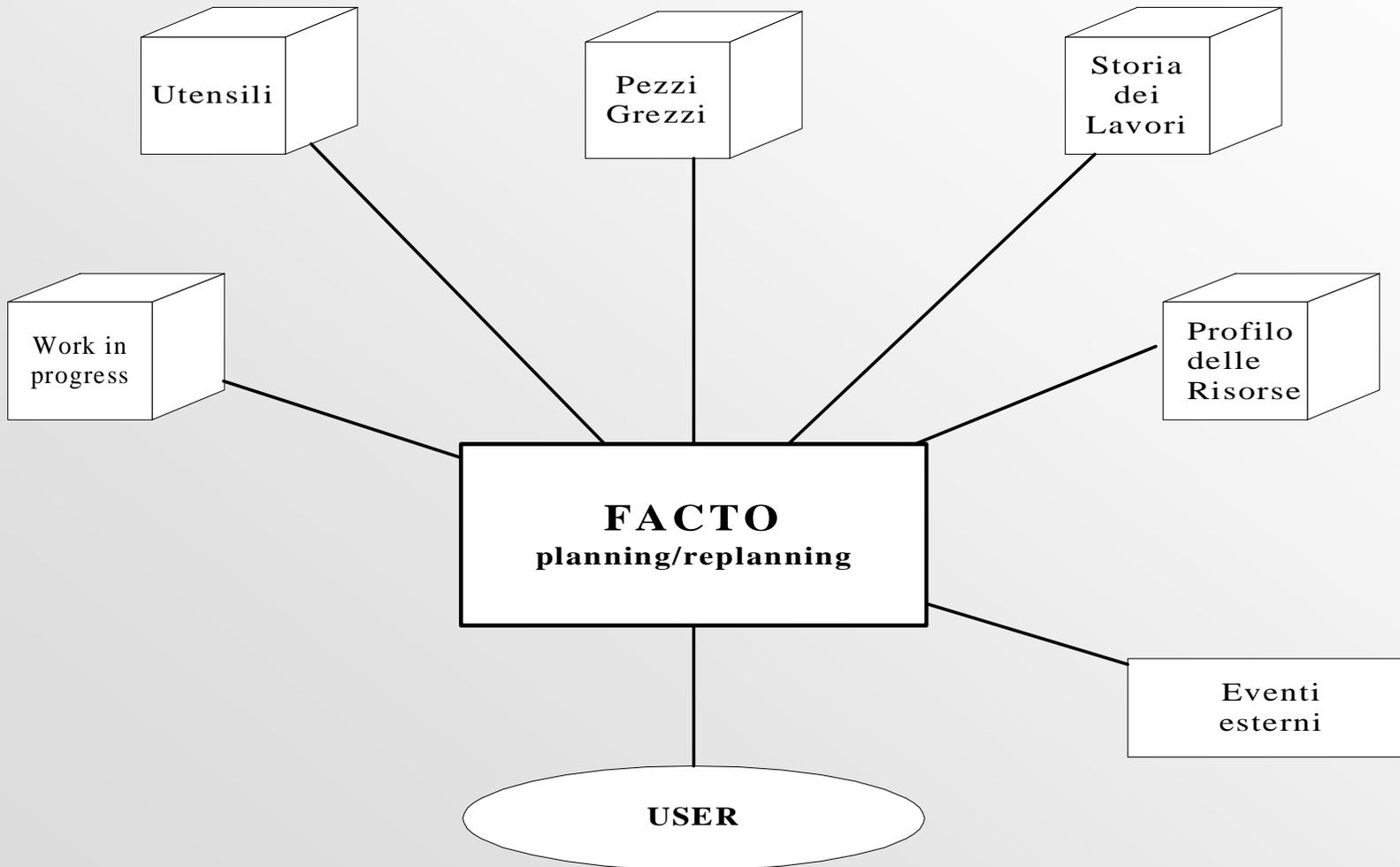
WP 2.3 Modello funzionale del processo di produzione

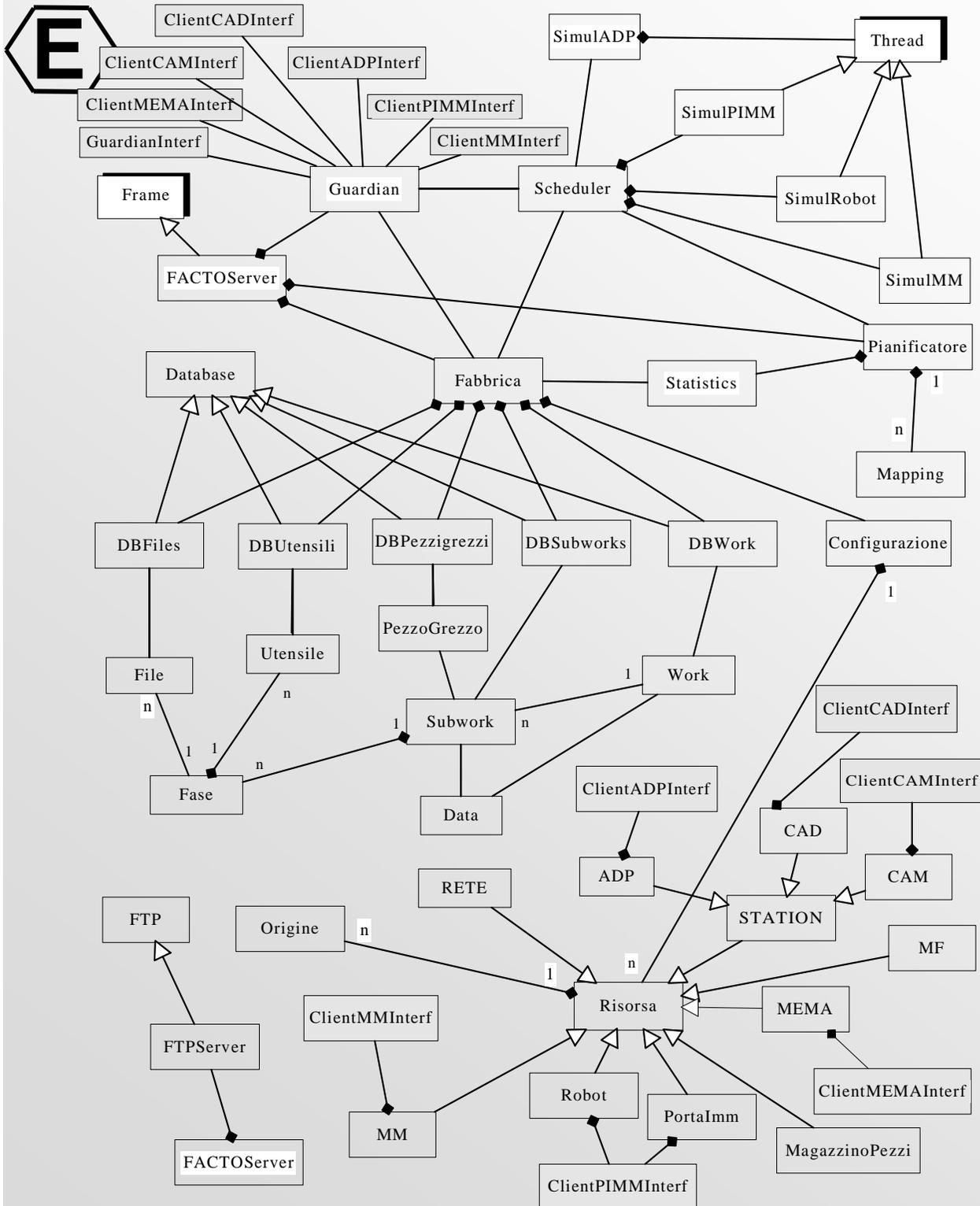


- a. quando il CAM non è corretto si ripete la fase di CAD
- b. se la misura del pezzo sulla macchina di misura è sbagliata si può dover ripetere la fase di CAM
- c. se ad una prima verifica la misura del pezzo non è corretta si può dover ripetere la fase di CAM
- d. se la lavorazione del pezzo non è corretta si può dover ripetere la fase di CAM
- e. se ad una prima verifica la misura del pezzo non è corretta si può dover ripetere la fase di adattamento ADP
- f. se la lavorazione del pezzo non è corretta si può dover ripetere la fase di ADP
- g. se ad una prima verifica la misura del pezzo non è corretta si può dover ripetere la fase di lavorazione
- h. dopo la lavorazione si può procedere ad una prima misura in macchina
- i. se ad una prima verifica la misura del pezzo è corretta si può passare alla misura sulla macchina di misura
- j. se la misura del pezzo sulla macchina di misura non è corretta si può dover ripetere la fase di lavorazione



WP 2.4 Analisi strutturale dell'architettura Client-Server





WP2.5-- Analisi ad oggetti del dominio del problema

- modello UML del dominio del problema
- semplicità nell'aggiungere nuove funzionalità
- verifiche di consistenza
- Portabilità e manutenibilità del codice



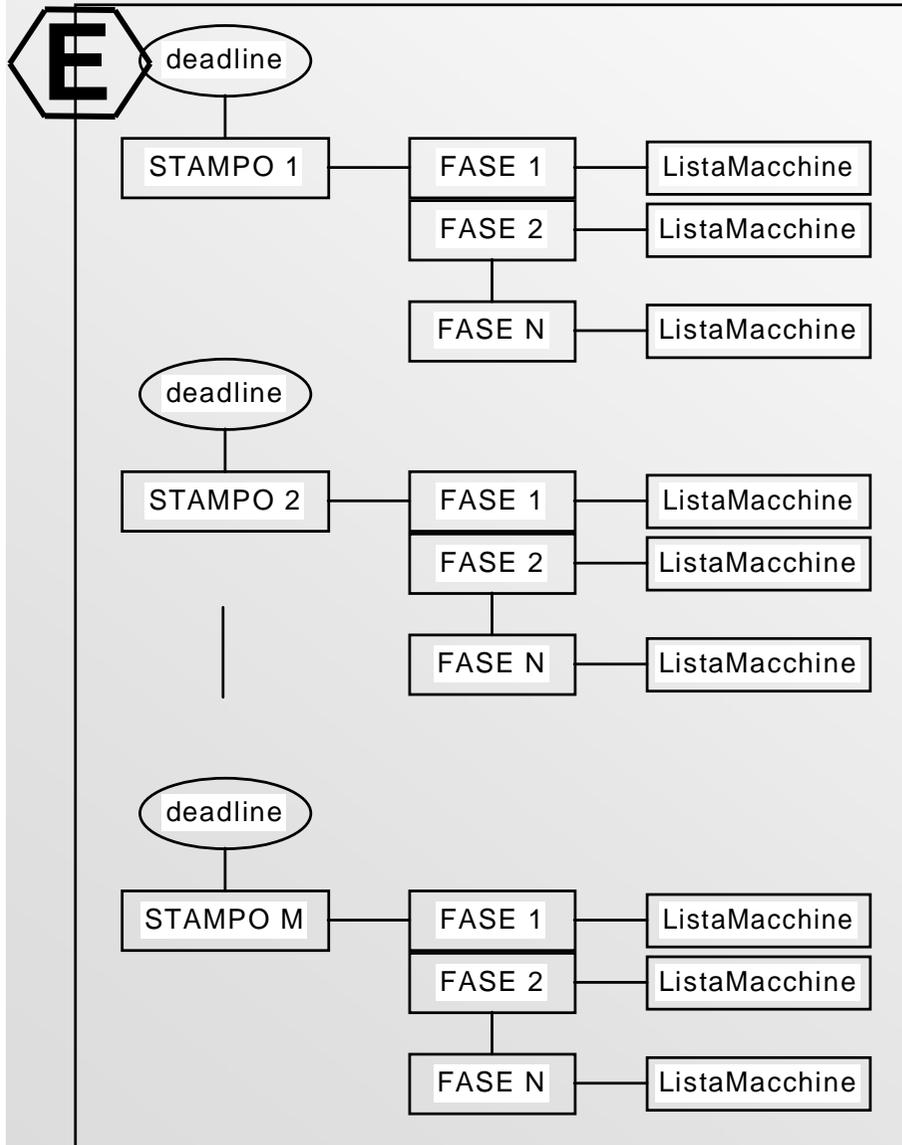
WP3 -- Definizione di modelli matematici per la pianificazione e la gestione

- WP 3.1 -- Studio di politiche di ottimizzazione per la gestione della produzione
- WP 3.2 -- Studio di modelli matematici per la pianificazione di attività (*non incluso nel primo CP*)



Problemi affrontati

- Scelta dell' algoritmo di ottimizzazione
- Identificazione del funzionale
- definizione casi campione
- realizzazione di un primo prototipo
- produzione della soluzione iniziale
- valutazione dei risultati ottenuti
- miglioramento del metodo con varie tecniche
- realizzazione del generatore di casi di test
- realizzazione di un gestore della produzione



Problema

- Resource Constrained Project Scheduling (RCPS)
- Fasi: CAD,CAM,ADP,MM,MEMA
- Presenza di vincoli: Non si può eseguire una MEMA se non si è terminato la MM

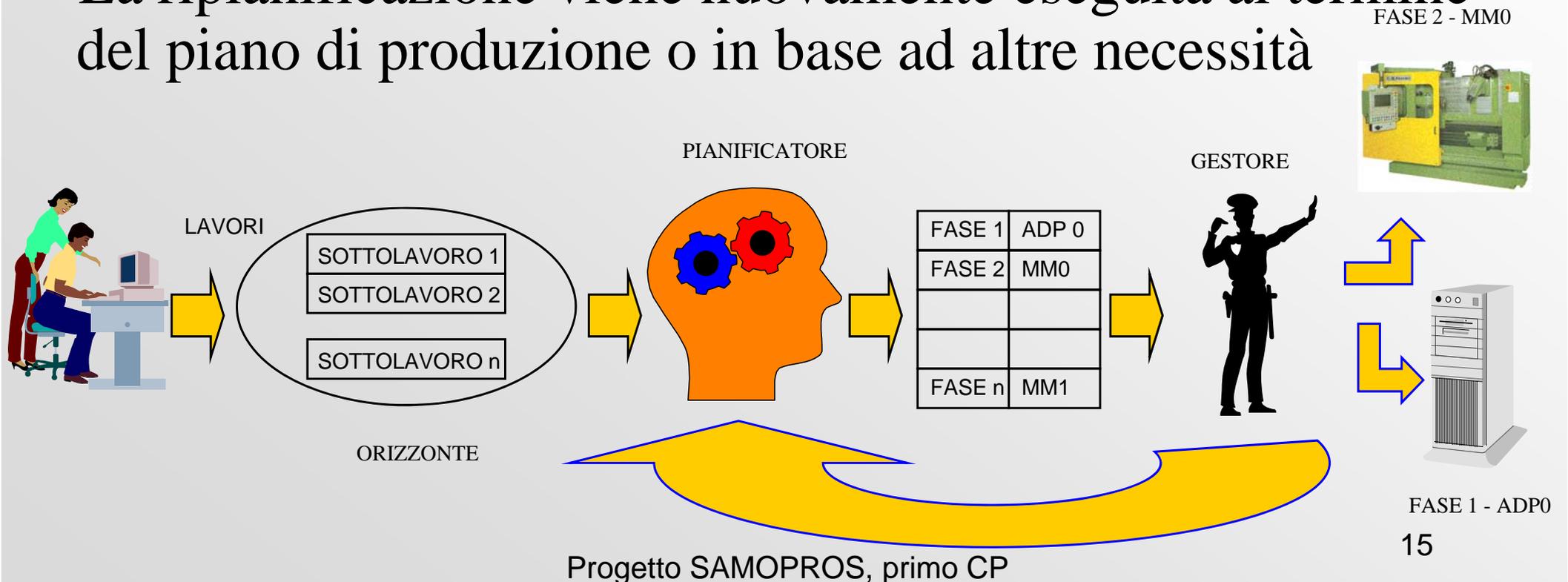
OBIETTIVO

Pianificare la produzione degli stampi nel minor tempo possibile, rispettando i tempi di consegna (se possibile) e distribuendo uniformemente il carico di lavoro sulle risorse dell'isola

E

Ottimizzazione di Processo

- Problema *flexible manufacturing system*
 - ogni job può richiedere l'intervento di più macchine
 - l'ordine di esecuzione delle operazioni è diverso da job a job
 - vi sono vincoli di esecuzione tra operazioni di uno stesso job
- Ottimizzazione ottenuta considerando le scadenze, i tempi stimati e le richieste di ogni fase
- La ripianificazione viene nuovamente eseguita al termine del piano di produzione o in base ad altre necessità





WP 3.1 - Confronto SA, AG, TS

In letteratura le tecniche più utilizzate per affrontare tali problemi sono le seguenti:

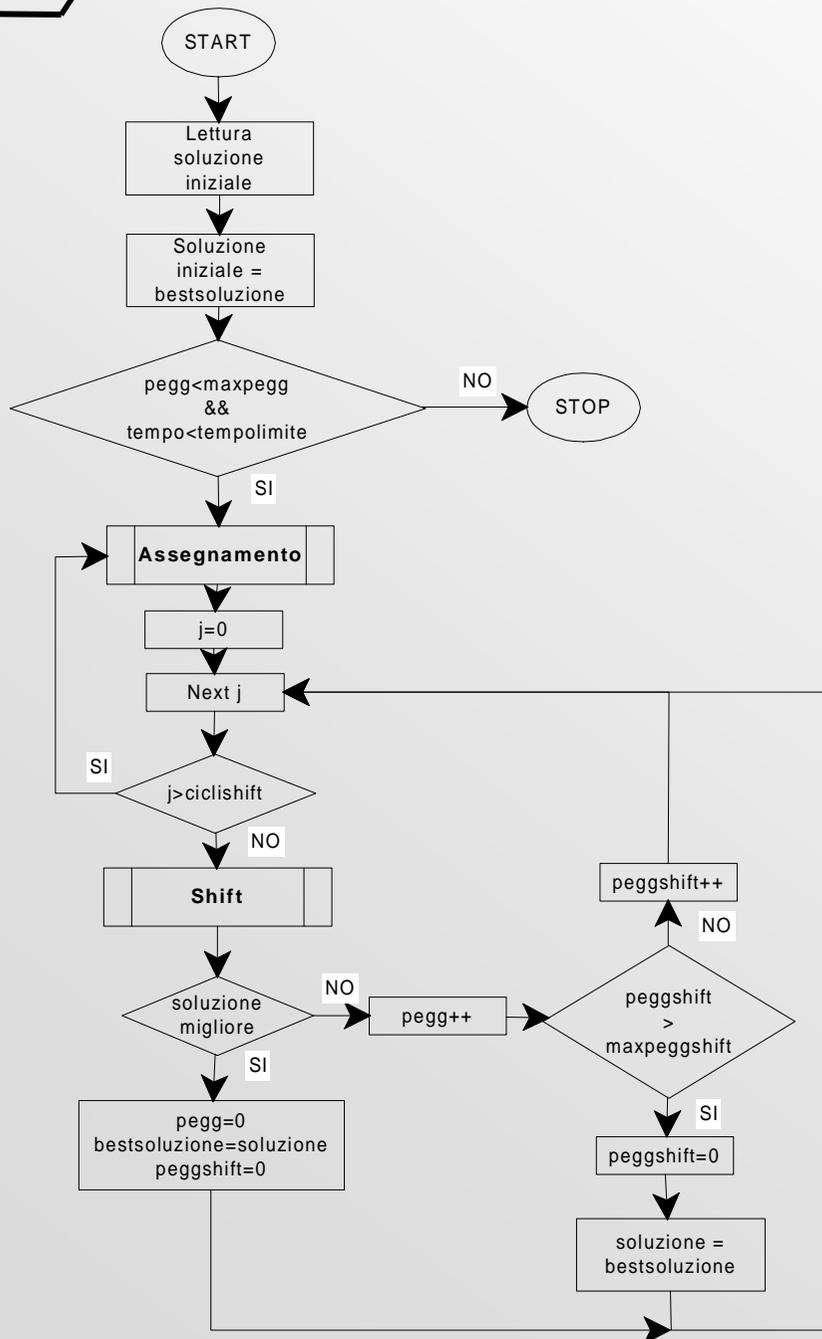
- **SA** (Simulated Annealing)
- **AG** (Algoritmi Genetici)
- **TS** (Tabu Search)

Dai lavori utilizzati come riferimento risulta che:

- **TS** maggior velocità (almeno un ordine di grandezza)
- **TS** capacità di trovare il maggior numero di soluzione ottime (benchmark)
- **TS** minor dipendenza rispetto al problema (aumento job e macchine)
- **TS** architettura realizzativa semplice (adatta a vari problemi)
- **AG** maggior robustezza (non necessita di soluzione iniziale).
Versioni modificate come **GLS** hanno prodotto buoni risultati.

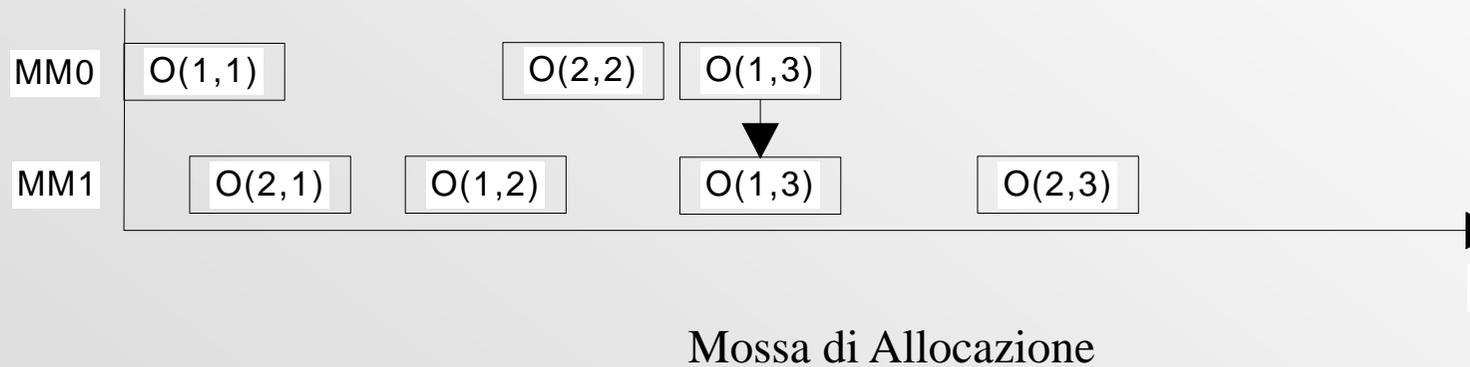
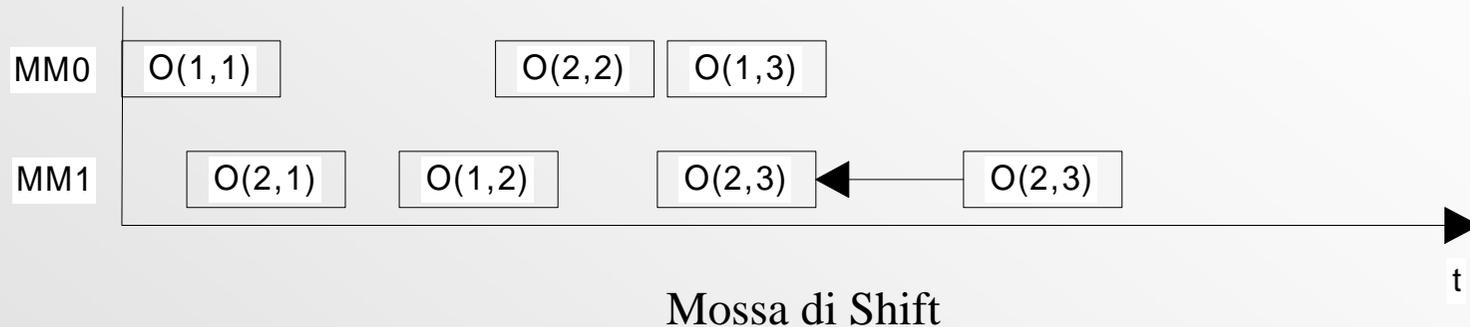
Tabu-search

- Introduzione di memoria nel processo di ricerca della migliore soluzione sottoforma di *lista tabu*
- Le mosse appartenenti alla lista Tabu sono mosse che sono state eseguite recentemente (memoria *recency*) o che sono state effettuate frequentemente nelle ultime iterazioni (memoria *frequency*)
- Le mosse nella lista tabu - non possono essere eseguite per un numero di iterazioni pari a *tenoretabu*





Mosse operate sui task



Qualsiasi mossa più complessa può essere ottenuta per composizione di queste mosse semplici



Funzionale di costo

$$F = K_A * allocation - K_B * \Delta biasDeadline + K_D * \Delta delay + K_V * \Delta varTotale + K_c * \Delta C_{max}$$

- allocation costituisce il valor medio di violazione di contemporaneità nella schedula
- C_{max} misura la lunghezza temporale della schedula
- biasDeadline è il valor medio relativo all'anticipo (o al ritardo) rispetto alle scadenze delle operazioni contenute nella schedula
- delay favorisce l'anticipo dei task in ritardo rispetto a quelli che rientrano nella scadenza prevista
- vatTotale costituisce una misura del valor medio del carico complessivo sulle risorse utilizzate
- I vari K sono i pesi associati ai funzionali. I Δ indicano che si prende la variazione del funzionale rispetto all'iterazione precedente



Funzionali di costo

<i>Funzionale</i>	<i>Anticipa scadenze</i>	<i>Riduce schedula</i>	<i>Risolve violazioni</i>	<i>Uniforma carico</i>
<i>BiasDeadline</i>	SI	SI	NO	NO
<i>Delay</i>	SI per i task in ritardo	SI se task in ritardo	NO	NO
<i>C_{max}</i>	SI ma solo dell'ultimo	SI	NO	NO
<i>Allocation</i>	NO	NO	SI	NO
<i>VarTotale</i>	NO	NO	NO	SI



Andamento funzionali

$$F = K_A * allocation -$$

$$K_B * biasDeadline + K_D * delay + K_V * varTotale + K_C * C_{max}$$

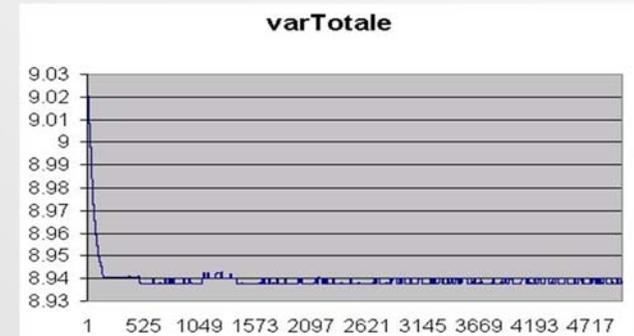
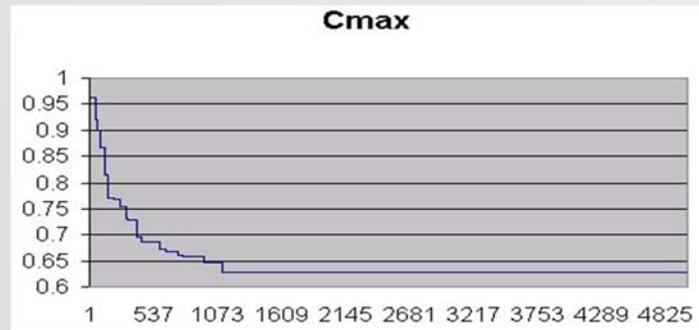
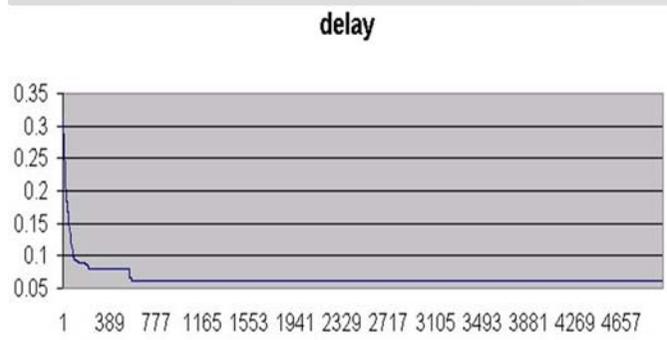
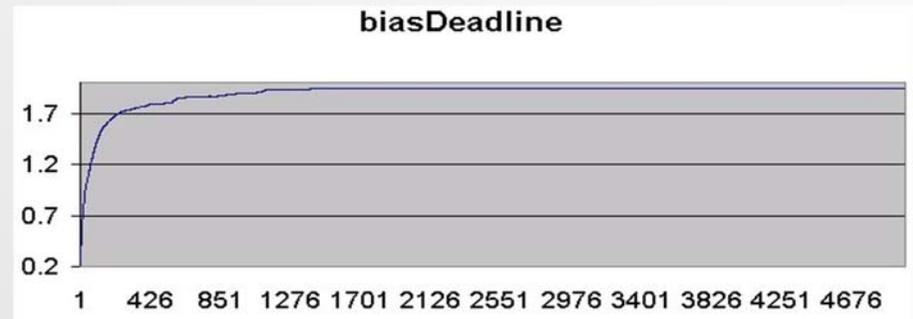
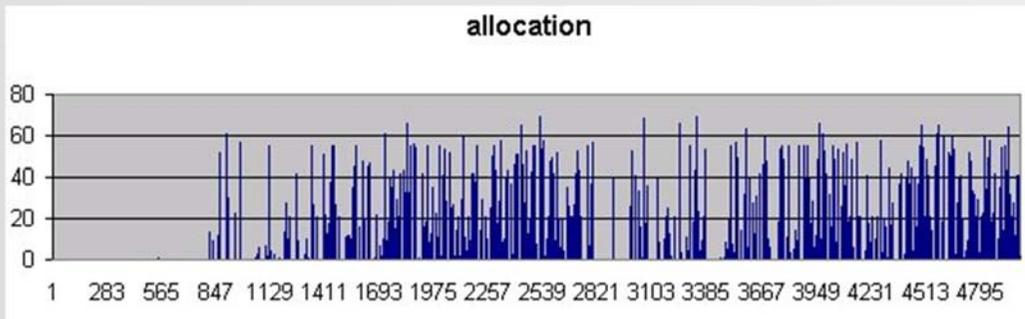
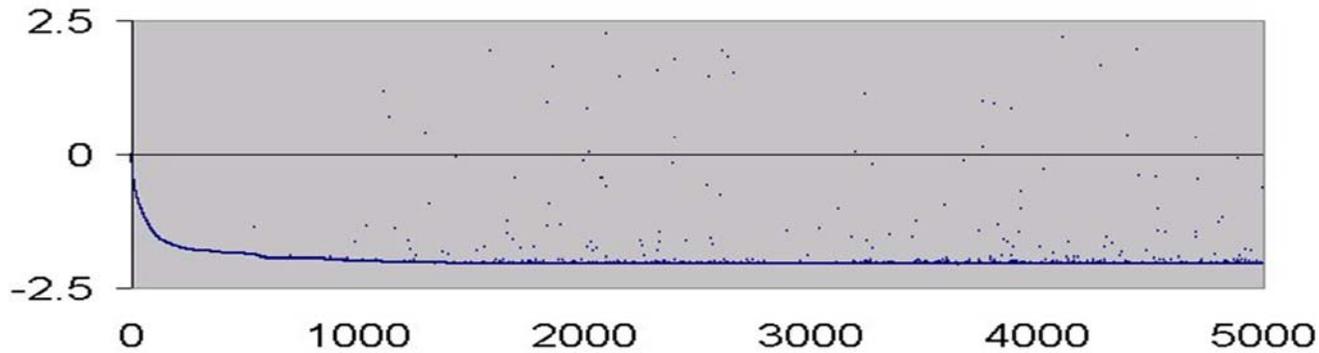
$$K_A = 10^{-3}$$

$$K_B = 10^{-7}$$

$$K_D = 10^{-7}$$

$$K_V = 10^{-11}$$

$$K_C = 10^5$$





Generazione automatica dei task

Generatore di TASK

Giorni Carico (%) Tutte le risorse

CAD CAM ADP MM MEMA

OreCAD OreCAM OreADP OreMM OreMEMA

tMinCAD tMaxCAD
tMinCAM tMaxCAM
tMinADP tMaxADP
tMinMM tMaxMM
tMinMEMA se tMM <= tMaxMEMA se tMM >

tCAMCAD tADPCAM tMMADP



[WORK]

2000;0;26/1/2000 15:21:29;9/2/2000 15:21:29

[JOB]

0;0;1524;8/2/2000 13:57:29

14

[TASK]

CAD;CAD0;364;-1;-1;-1;0;

CAM;CAM0,CAM1;200;0;-1;-1;1;

ADP;ADP0,ADP1,ADP2;100;1;-1;-1;2;

MM;MM0,MM1,MM2;100;2;-1;-1;3;

MEMA;MEMA0;40;3;-1;-1;4;

ADP;ADP0,ADP1,ADP2;100;1;-1;-1;5;

MM;MM0,MM1,MM2;100;5;4;-1;6;

MEMA;MEMA0;40;6;-1;-1;7;

ADP;ADP0,ADP1,ADP2;100;1;-1;-1;8;

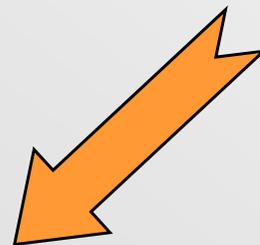
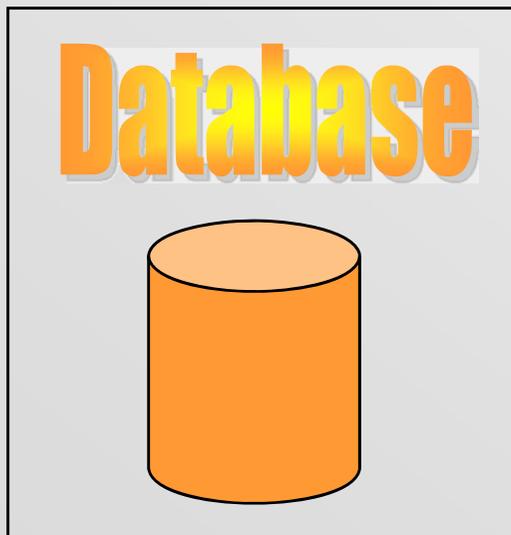
MM;MM0,MM1,MM2;100;8;7;-1;9;

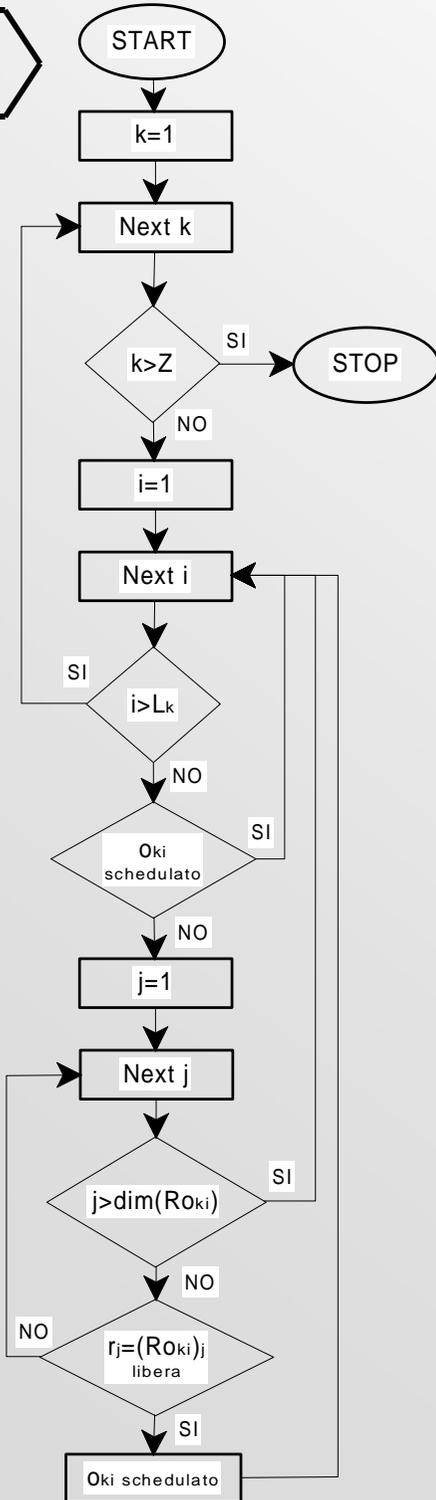
MEMA;MEMA0;40;9;-1;-1;10;

ADP;ADP0,ADP1,ADP2;100;1;-1;-1;11;

MM;MM0,MM1,MM2;100;11;10;-1;12;

MEMA;MEMA0;40;12;-1;-1;13;



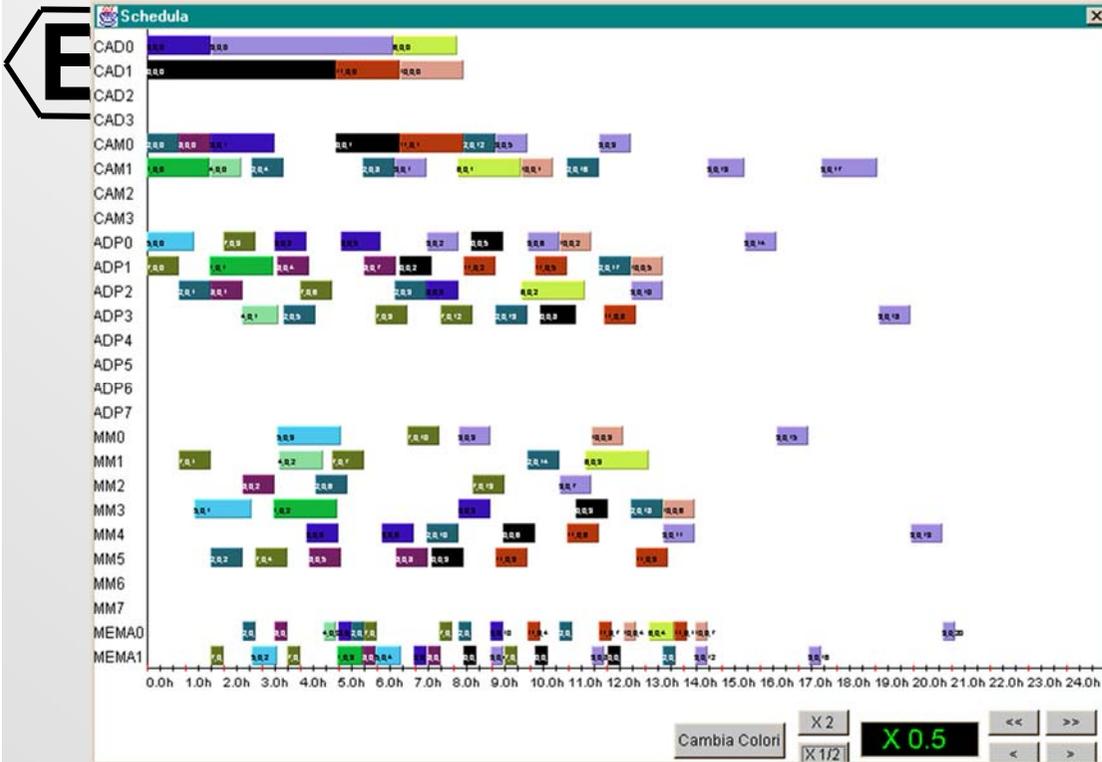


Soluzione Iniziale

- Earliest Deadline First dinamico (ad ogni iterazione rimette in discussione le precedenze) sulla base di LST:

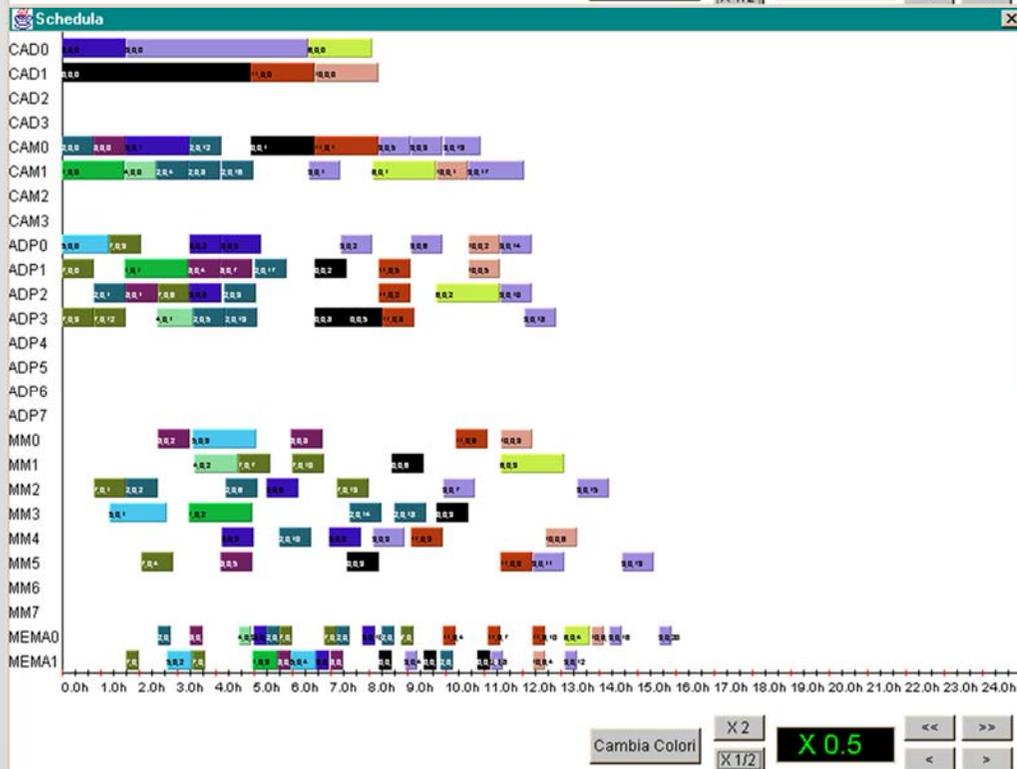
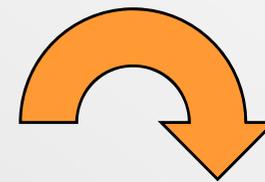
$$LST_k = dj_k - \sum_{i=1}^L t_{o_{k,i}}$$

- Rappresenta l'ultimo istante utile in cui è possibile far partire la lavorazione senza perdere la deadline



Esempio di ottimizzazione

125 task, 2CAD,
2CAM, 4ADP, 6MM,
2MEMA

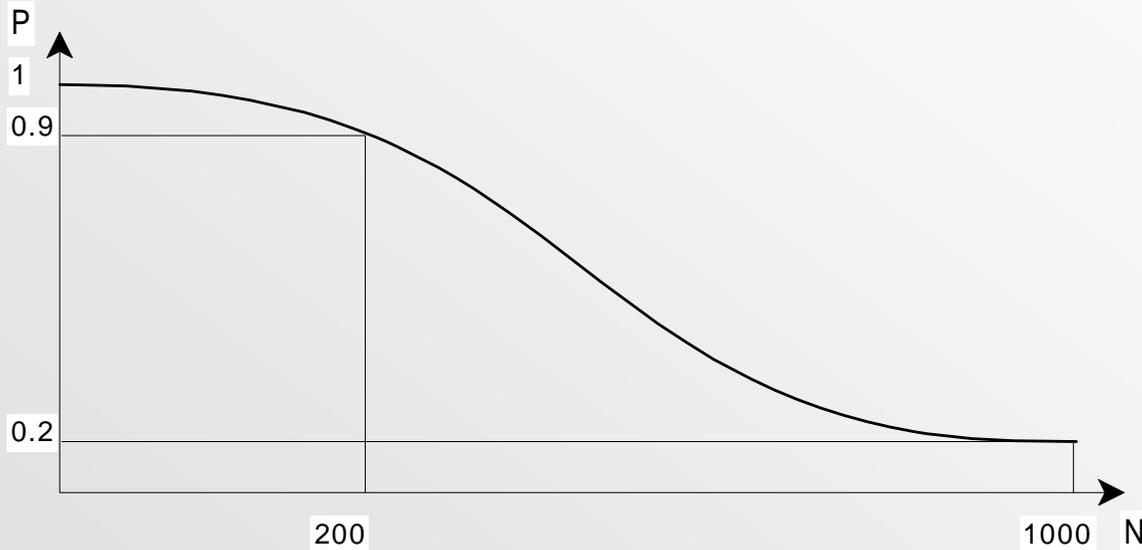


Ottimizzazione: 24.6%

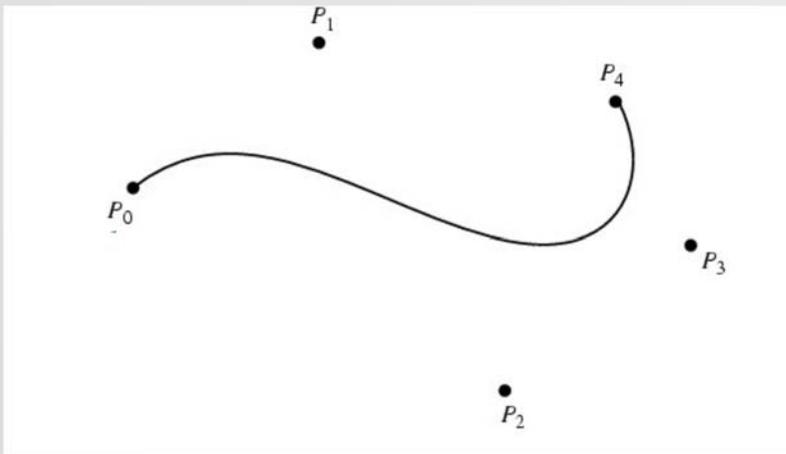
Tecniche euristiche

- La valutazione dei funzionali esige un notevole impegno di risorse computazionali
 - Scelta random delle mosse ($p \in \mathcal{V}_p(0,1]$)
 - Scelta random delle mosse secondo un polinomio interpolante (p è funzione del numero delle iterazioni)
- Problema dei minimi locali
 - Ampliamento dello spazio della ricerca mediante la *ricerca inflazionaria*

Curve di Bezier



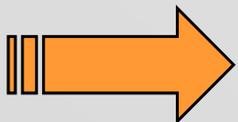
- necessario analizzare un numero elevato di configurazioni all'inizio della ricerca
- selezione dinamica dei task



$$C(u) = \sum_{i=0}^n P_i B_{i,n}(u) \quad B_{i,n}(u) = \binom{n}{i} u^i (1-u)^{n-i}$$

$$P(u) = (1-u)^4 + 4(1-u)^3 u + 3.144(1-u)^2 (u)^2 + 0,8(1-u)u^3 + 0,2u^4$$

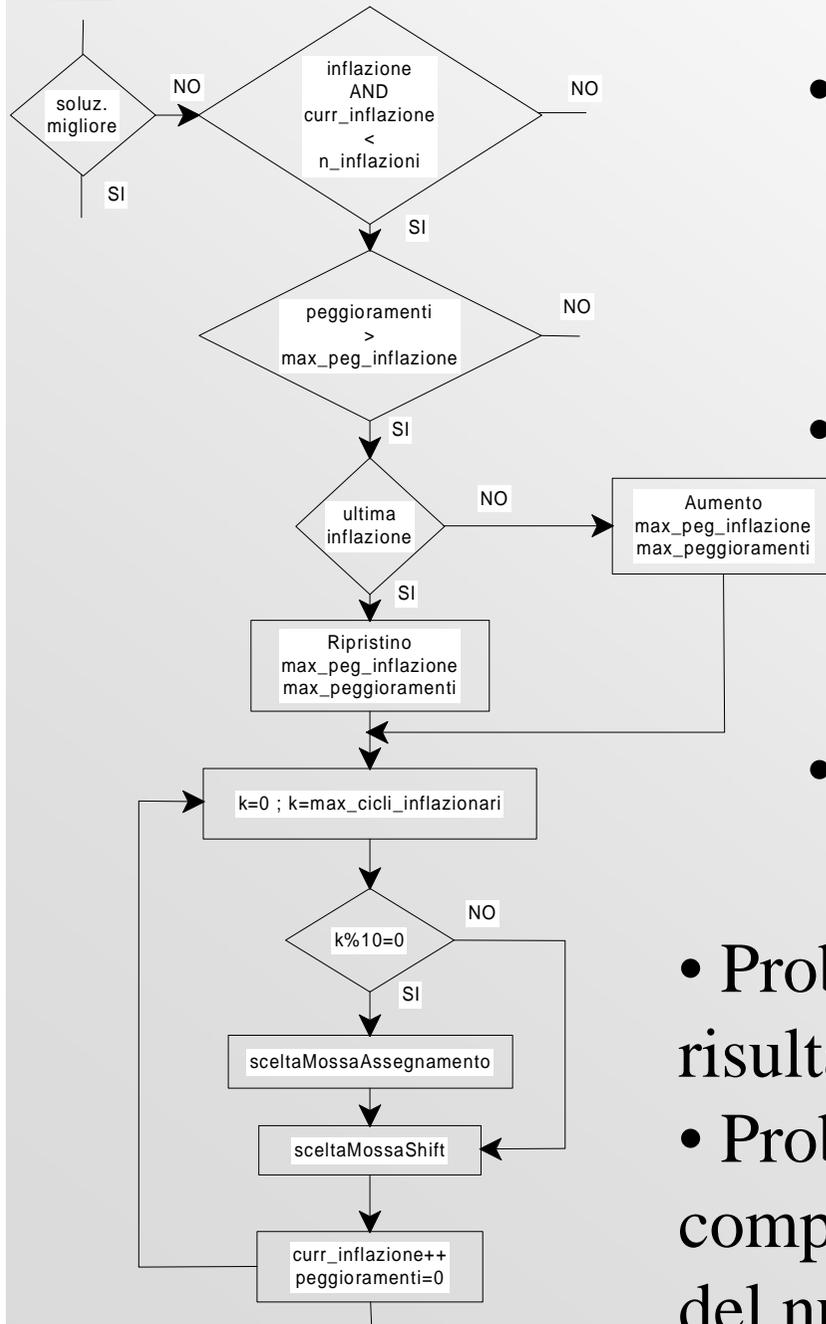
$$P = \begin{cases} P(u), & \text{se } u \leq 1 \\ 0.2, & \text{se } u > 1 \end{cases} \quad N(u) = N_0 + (N_1 - N_0)u$$



- Notevole risparmio di risorse computazionali
- Peggioramento trascurabile qualità soluzioni



Ricerca Inflazionaria



- Poiché la ricerca non è esaustiva si possono ottenere risultati diversi in sessioni di lavoro diverse (caduta in minimi locali, selezione statistica delle mosse)
- Per uscire da queste condizioni si avvia una procedura che va alla ricerca della soluzione peggiore, favorendo le mosse che massimizzano il funzionale
- Alla fine di dei cicli inflazionari si riprende la ricerca nel modo consueto
- Problemi medio-piccoli (max 50 task): risultati migliori della ricerca normale
- Problemi di dimensione superiore: carico computazionale troppo elevato, limitazione del numero di inflazioni



Ricerca inflazionaria vs. Standard

Inflazionaria p=1

	1	2	3	4	5	6	Media
Ottimiz.	35.56%	34.96%	35.57%	35.56%	35.55%	35.50%	35.45%
Best F	-7.22	-7.02	-7.04	-6.92	-7.13	-7.14	-7.08
Tempo	338	157	432	251	203	283	277

Inflazionaria p=0.7

	1	2	3	4	5	6	Media
Ottimiz.	35.24%	35.46%	34.97%	35.52%	35.56%	35.39%	35.36%
Best F	-6.53	-7.30	-7.29	-6.89	-7.12	-7.27	-7.06
Tempo	113	141	123	124	156	181	140

Inflazionaria p=0.5

	1	2	3	4	5	6	Media
Ottimiz.	35.46%	34.96%	35.50%	33.93%	34.79%	34.66%	34.88%
Best F	-7.18	-7.06	-7.16	-6.96	-7.02	-7.05	-7.07
Tempo	126	86	136	88	120	101	109

Inflazionaria p=0.3

	1	2	3	4	5	6	Media
Ottimiz.	27.05%	26.76%	35.33%	34.86%	35.45%	26.81%	31.04%
Best F	-6.45	-6.27	-6.88	-7.05	-7.10	-6.34	-6.68
Tempo	71	56	71	98	87	77	77

Standard p=1 max_peg=400

	1	2	3	4	5	6	Media
Ottimiz.	26.22%	28.06%	26.34%	26.32%	34.94%	27.70%	28.26%
Best F	-6.31	-6.39	-6.31	-6.34	-7.06	-6.52	-6.49
Tempo	150	226	407	242	181	219	237

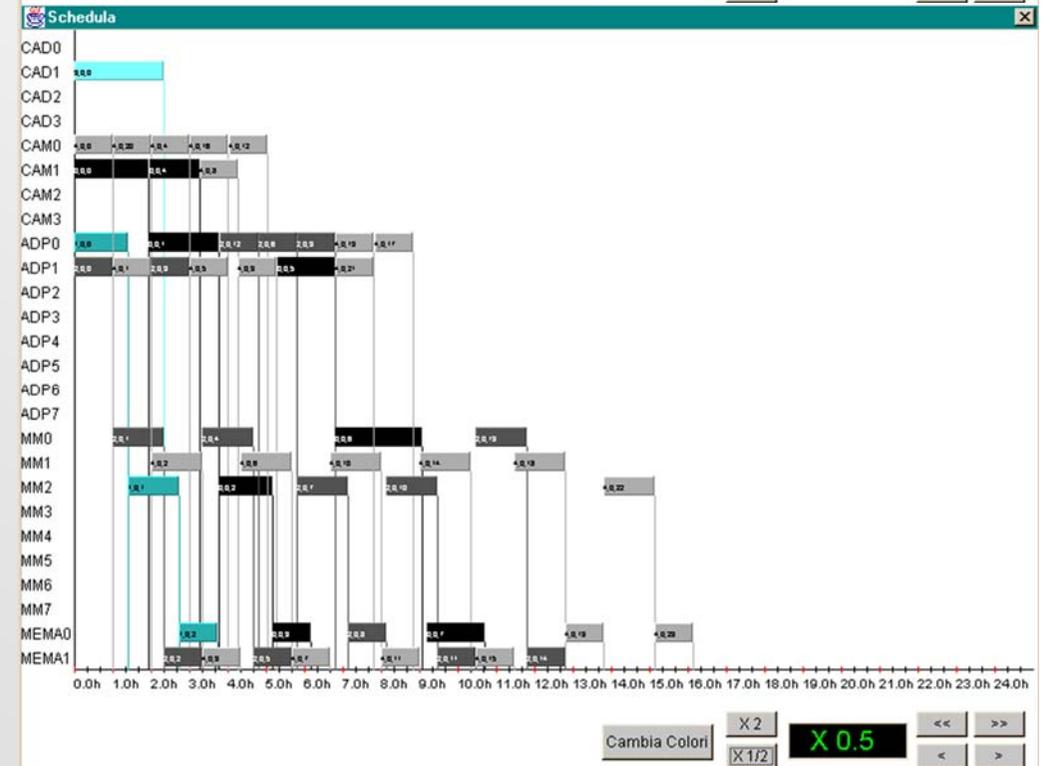
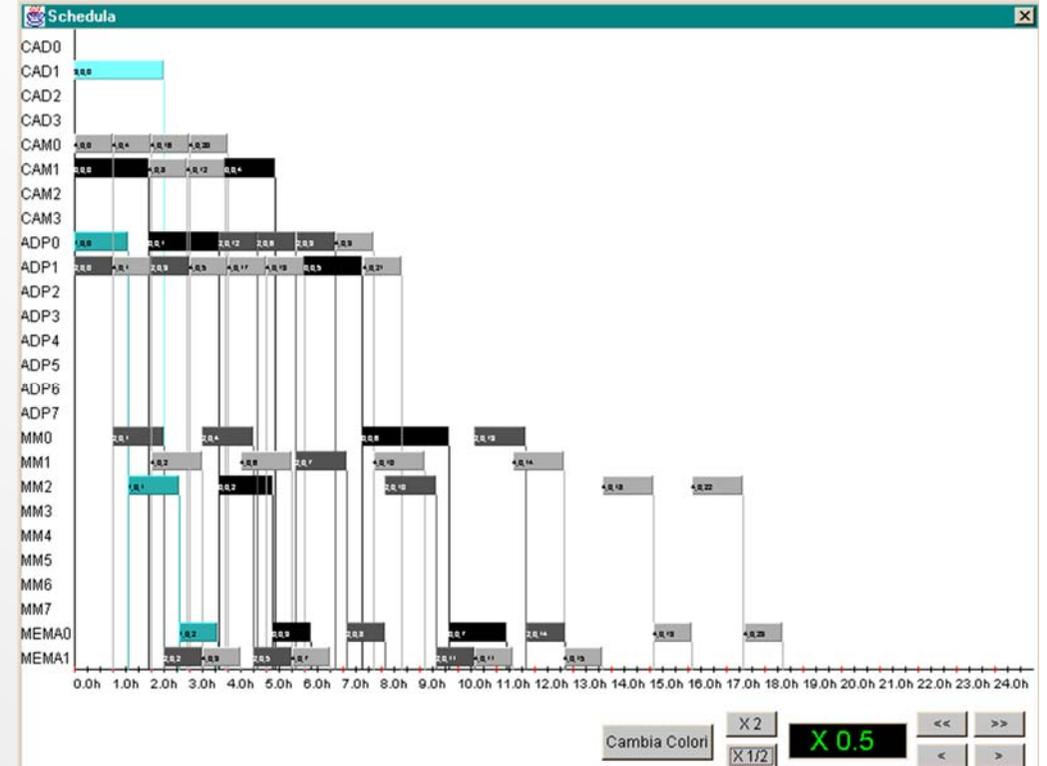
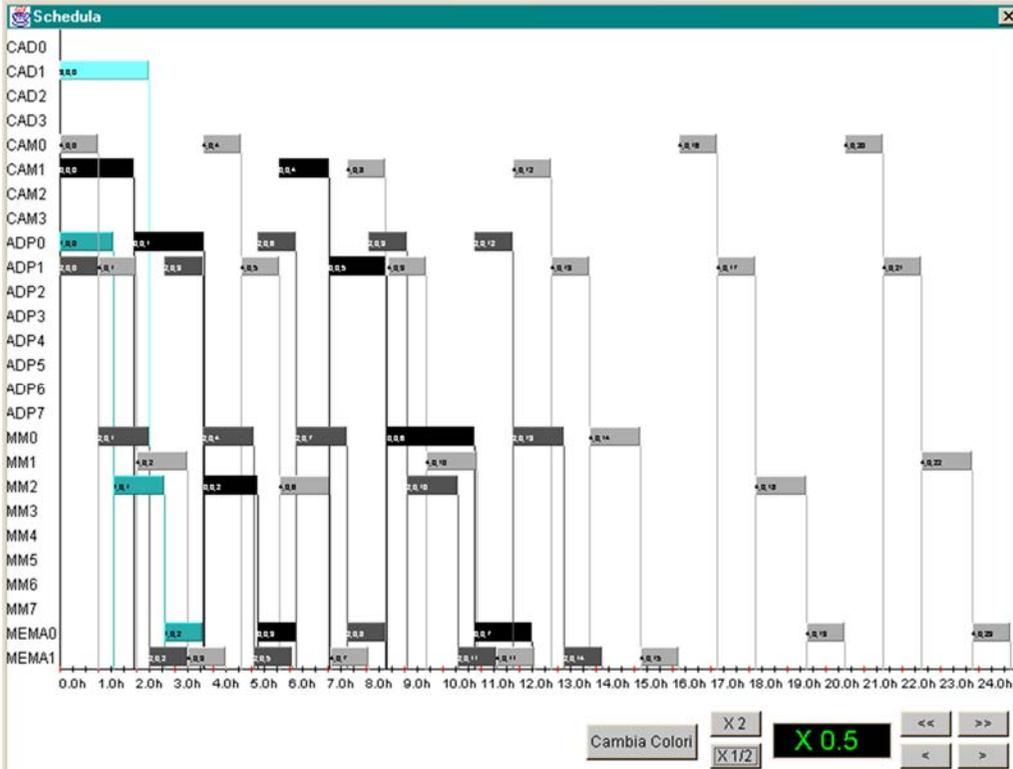
Bezier max_peg=400

	1	2	3	4	5	6	Media
Ottimiz.	33.34%	24.58%	25.30%	25.29%	34.36%	34.52%	29.57%
Best F	-6.90	-6.12	-6.07	-6.18	-6.93	-6.95	-6.53
Tempo	31	25	28	38	26	26	29

- Task set: 51 task, 1CAD, 2 CAM, 2ADP, 3MM, 2 MEMA
- Ricerca inflazionaria robusta fino a p=0.5
- Ricerca standard e Bezier producono risultati differenti
- Bezier molto piu` veloce della ricerca standard con risultati analoghi

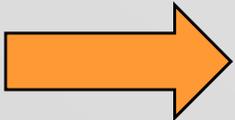


inflazionaria vs. Standard

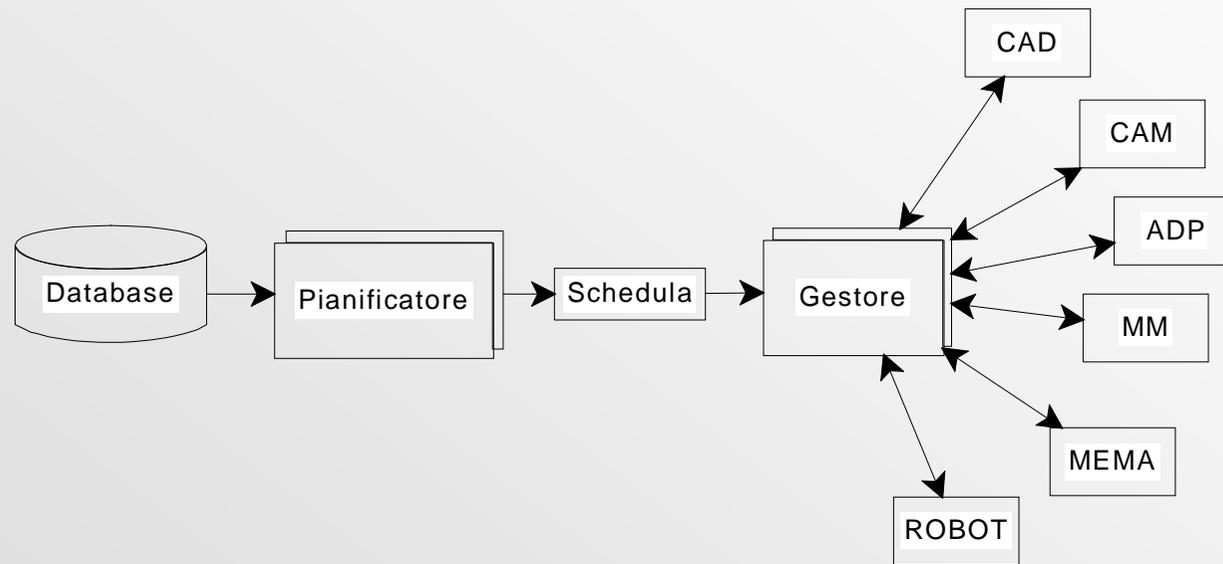


Ottimizzazione:

- standard 27.70%
- inflaz. 35.56%

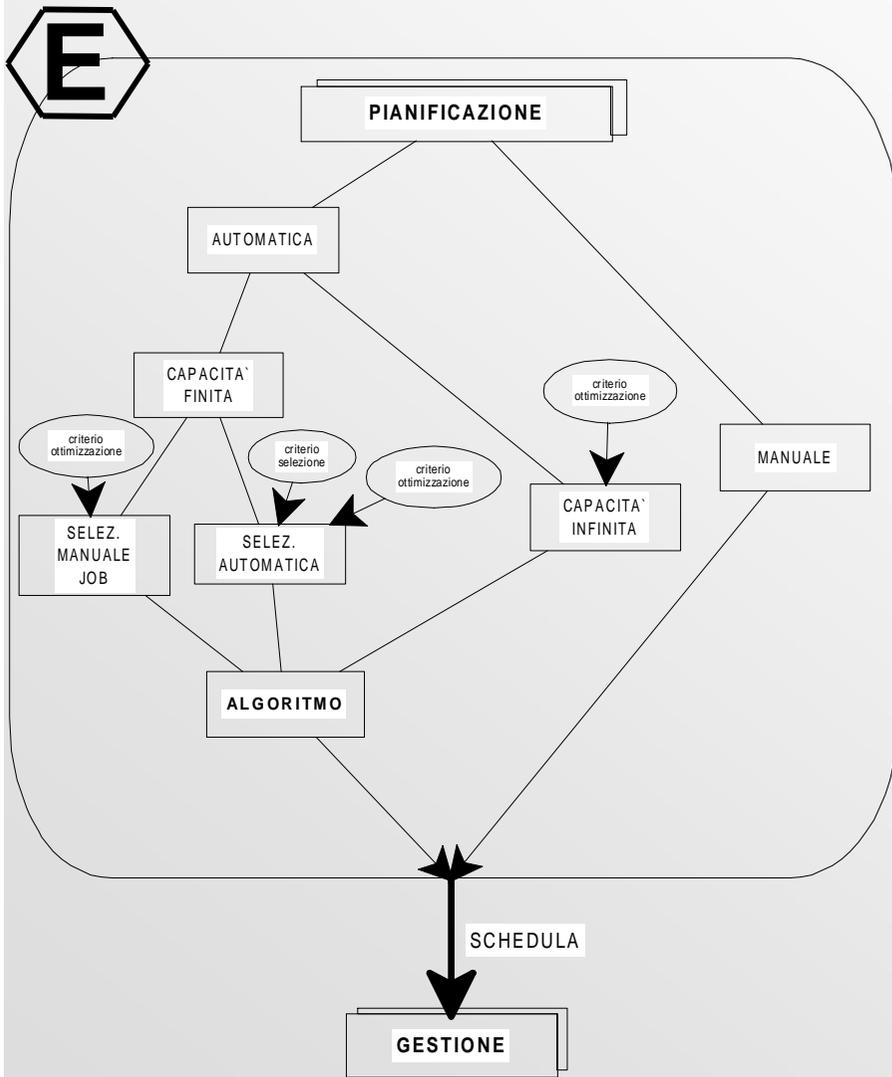


Gestore



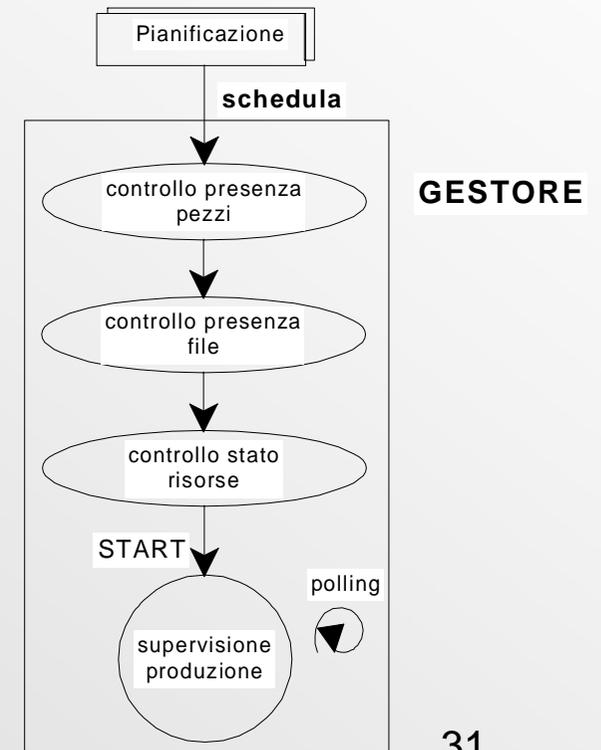
- Da il via alle fasi di lavorazione
- gestisce lo stato del processo di produzione

- Tiene in memoria la gestione del magazzino
- Salva periodicamente, nel database lo stato di lavori, job task
- Rileva malfunzionamenti di una o più risorse, gestendo la relativa situazione e stato
- Richiama il modulo di ripianificazione quando necessario



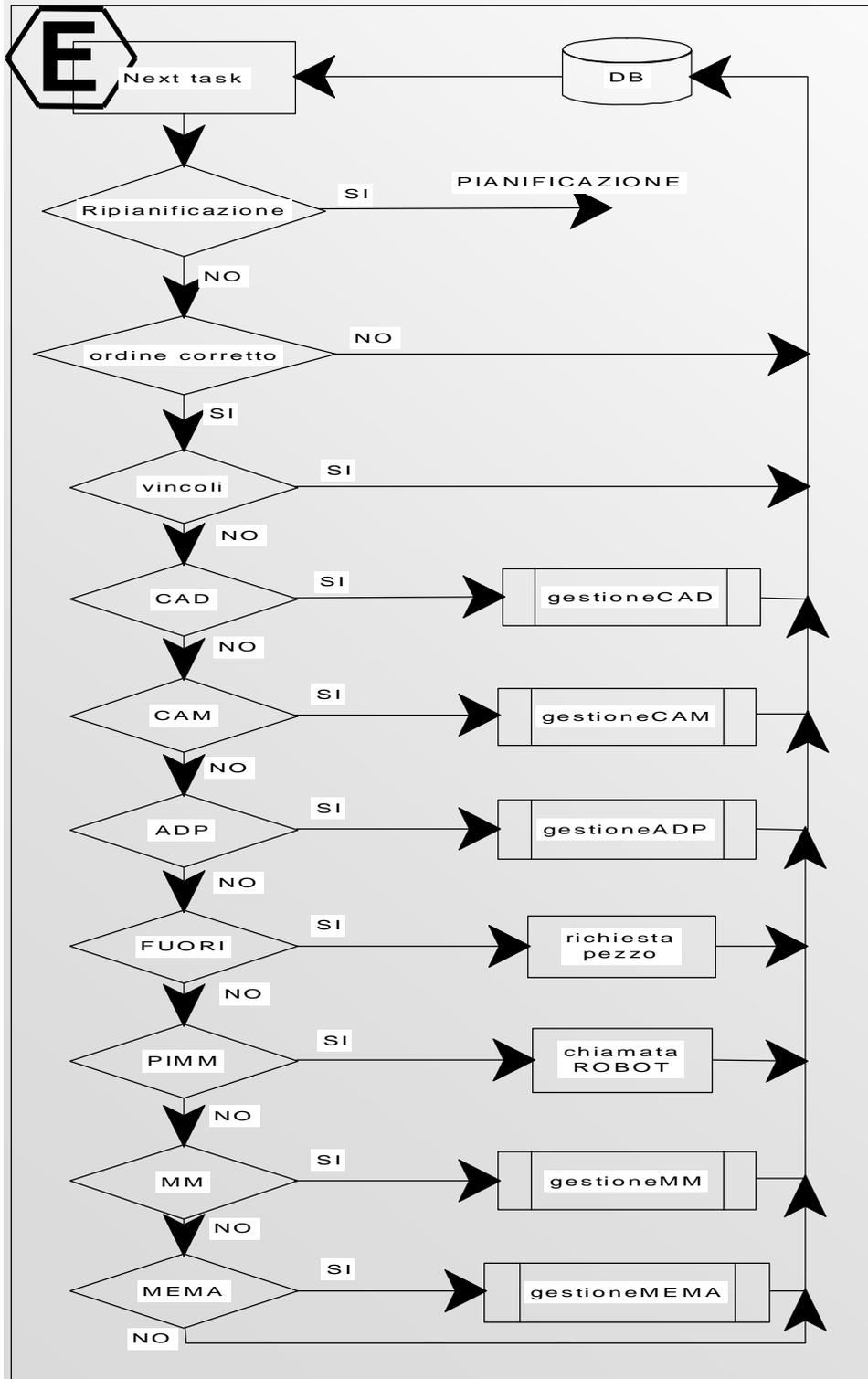
- Pianificazione manuale
- Pianificazione automatica:
 - capacità infinita
 - capacità finita
 - capacità magazzino
 - arco temporale
 - selezione manuale
 - altri criteri

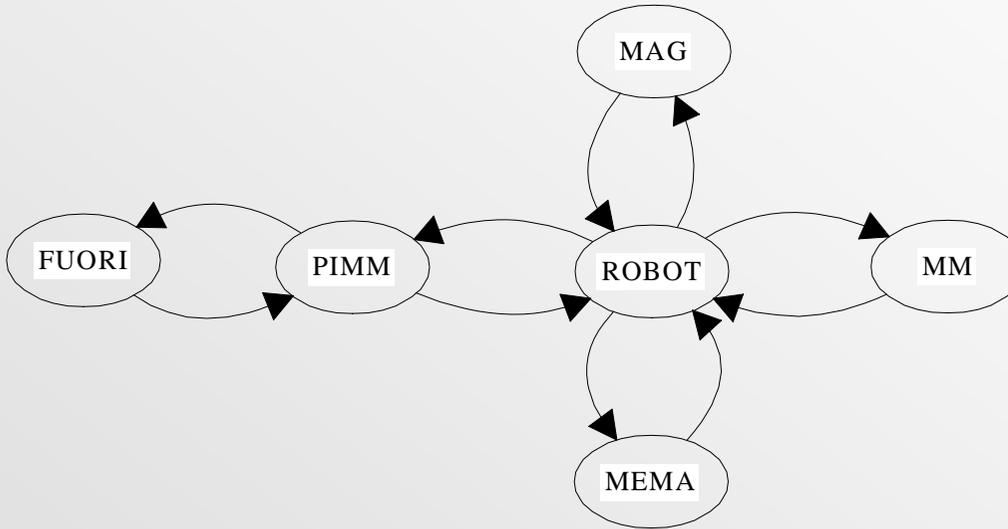
- Controlli sulla disponibilità delle risorse pianificate dal modulo di ottimizzazione



CICLO POLLING

- Ciclo continuo prelevando i task dal database
- Modulo Ripianificazione (guasto macchine, ripianificazione periodica, scostamento pianificazione)
- Modulo verifica correttezza ordine di esecuzione dei task
- Modulo verifica presenza vincoli di lavorazione per i task
- Moduli di gestione delle varie tipologie di task (CAD, CAM, ADP, MM, MEMA, ROBOT)
- Salvataggio dati aggiornati nel database





Posizione di un job nell'isola

Formalizzazione con macchine a stati dell'evoluzione di stato di ogni risorsa del sistema nel contesto della produzione automatica

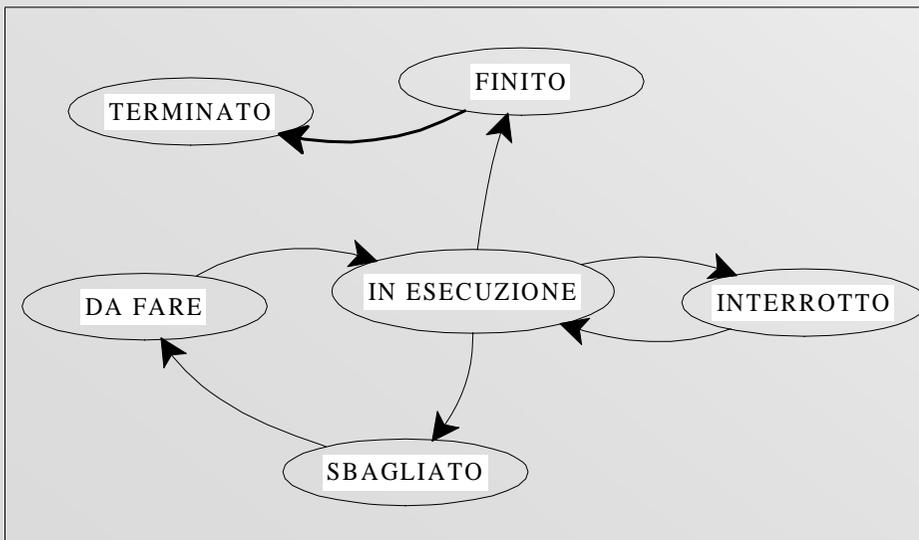


Diagramma di stato di un task

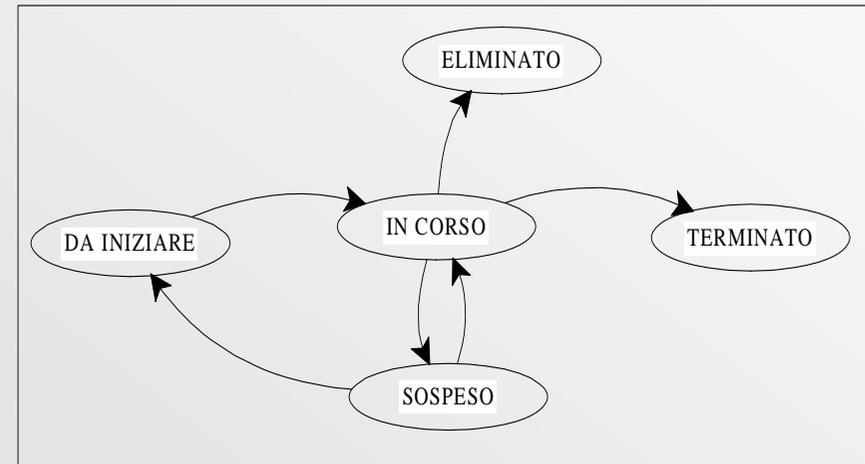


Diagramma di stato di un job



WP4 -- progettazione e codifica del prototipo di gestore del processo di produzione

- WP4.1 -- progetto e codifica dell'architettura generale e del database
- WP4.2 -- progettazione e codifica dei Client
- WP4.3 -- progettazione e codifica dei server

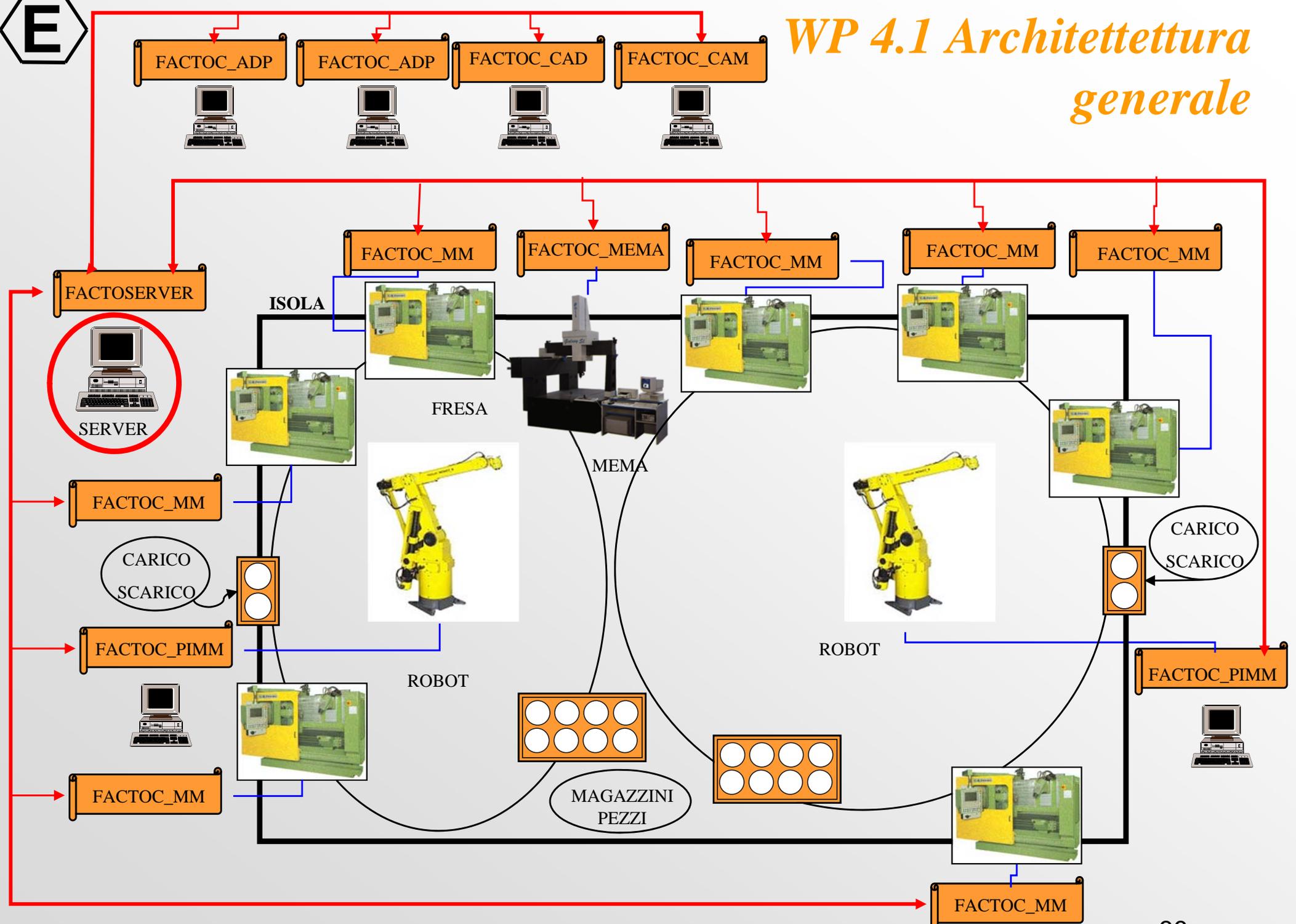


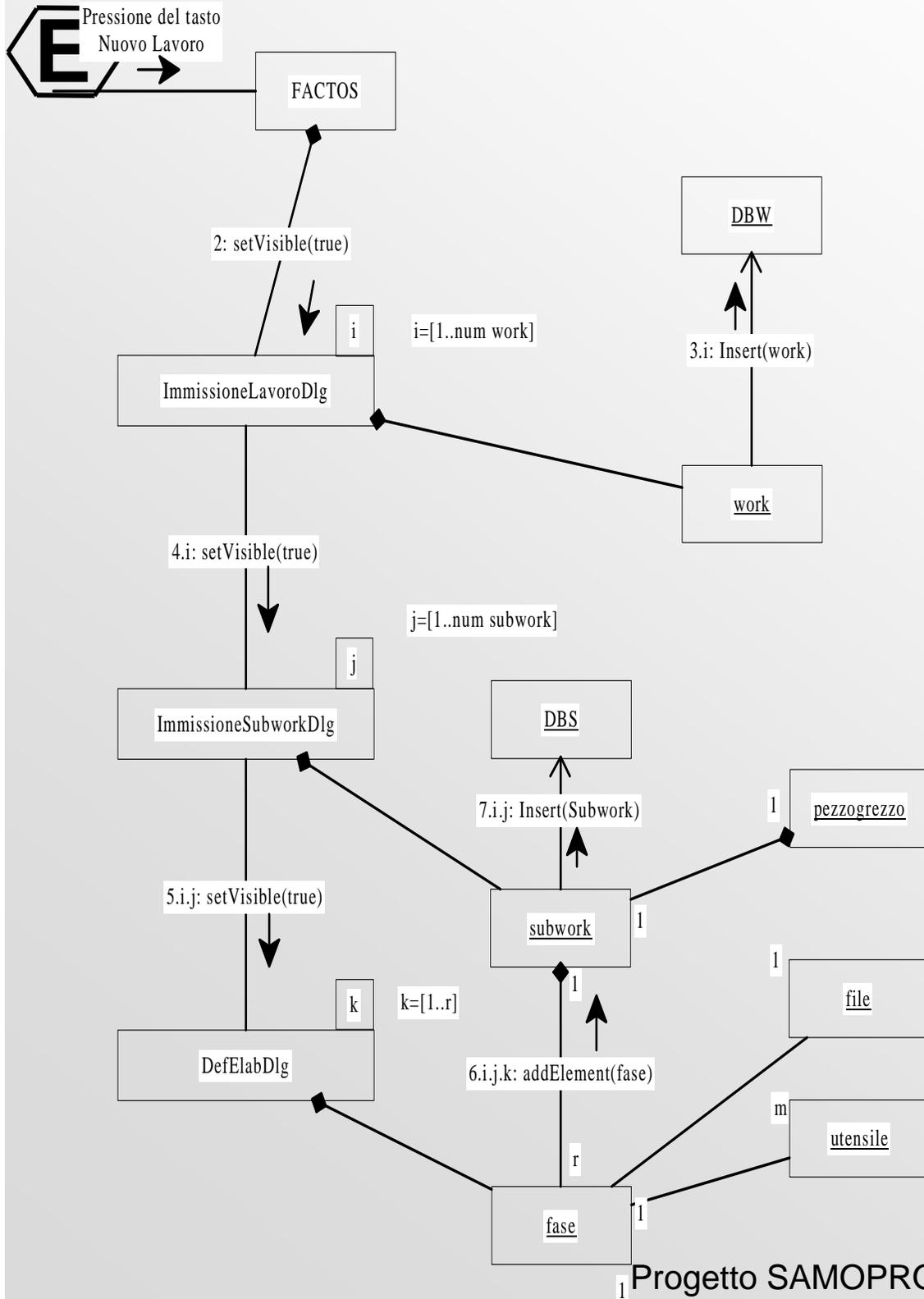
problematiche affrontate

- Analisi e progetto dei sistema distribuito, OO, UML
- modellazione software delle risorse
- modellazione del database
- programmazione concorrente e di tempo reale
- tecnologia RMI per la gestione del sistema
- interfaccia utente
- progettazione dei client
- integrazione di sistema

E

WP 4.1 Architettura generale





UML - diagramma di collaborazione

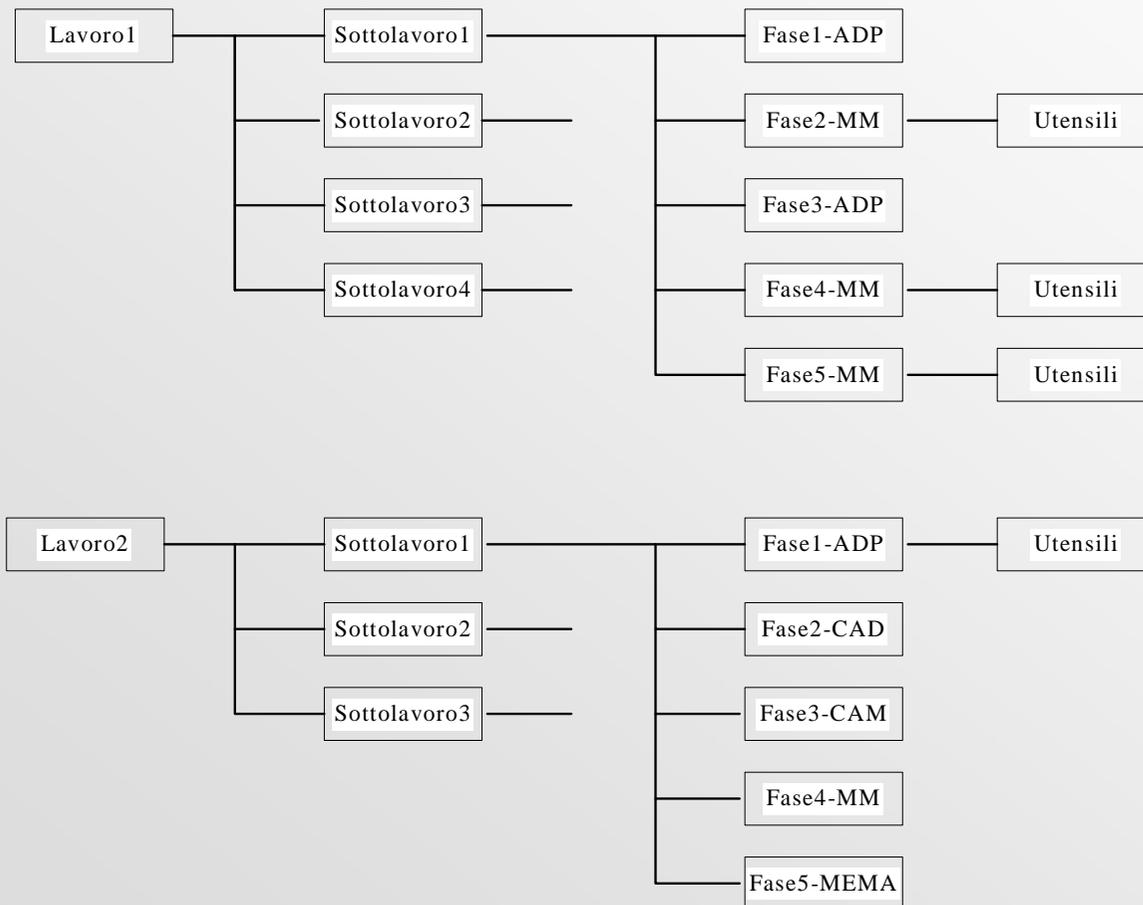
- Mostra la collaborazione fra gli oggetti durante l'esecuzione di un programma.

SCENARIO DI SIMULAZIONE:

L'utente si appresta ad inserire [i] commesse, per ogni commessa [j] sottolavori, costituiti rispettivamente da [k] fasi, nella fattispecie si supponga siano tutte MM. Le tre dialog in successione contengono rispettivamente un work, un subwork ed una fase. La commessa (work) viene inserita immediatamente dopo la definizione, mentre un sottolavoro viene inserito nel database solamente in seguito alla definizione delle fasi che lo compongono. E' da notare che il subwork viene inserito nel database assieme alle sue fasi.

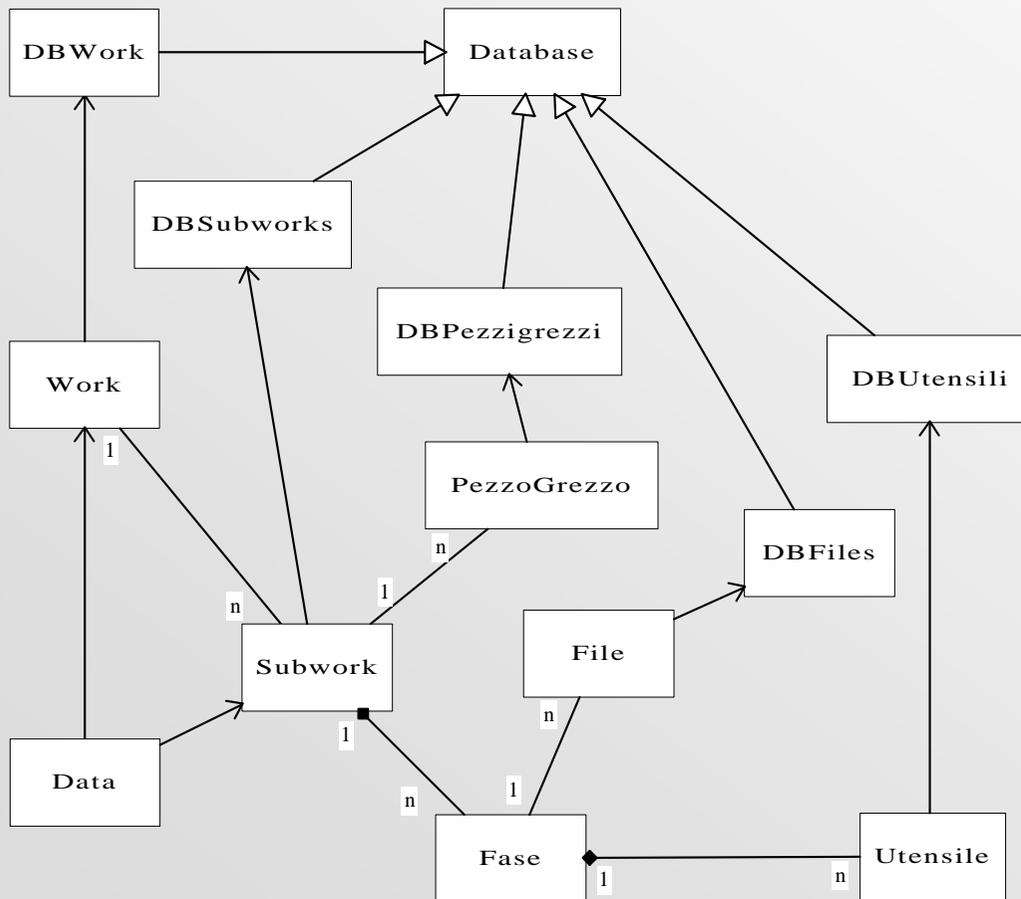


Database



- Ogni lavoro può contenere n sottolavori
- Ogni sottolavoro può essere definito da m fasi
- etc. etc....

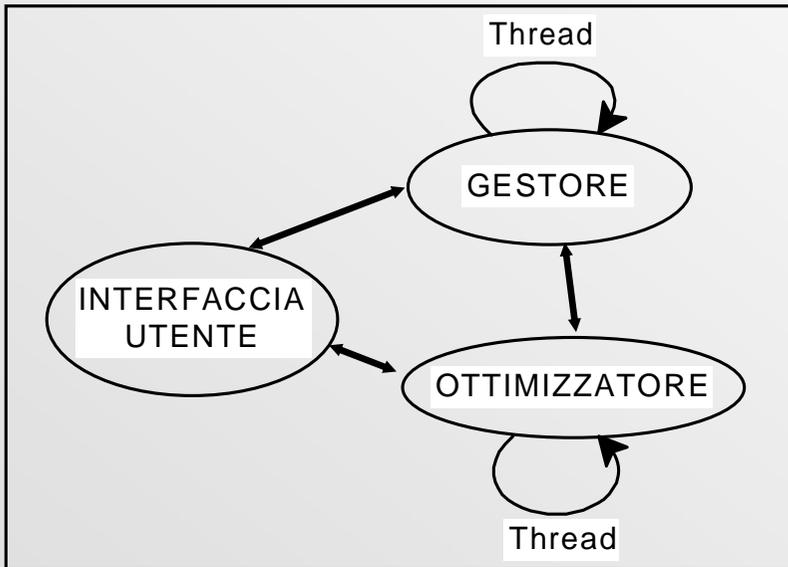
- Organizzazione gerarchica di lavori, sottolavori e fasi



- Modellazione ad oggetti delle funzionalita` del database
- Standard: SQL (Structured Query Language)
- Grazie all'approccio OO e` semplice aggiungere nuove caratteristiche (tabelle)

Programmazione concorrente e di tempo reale

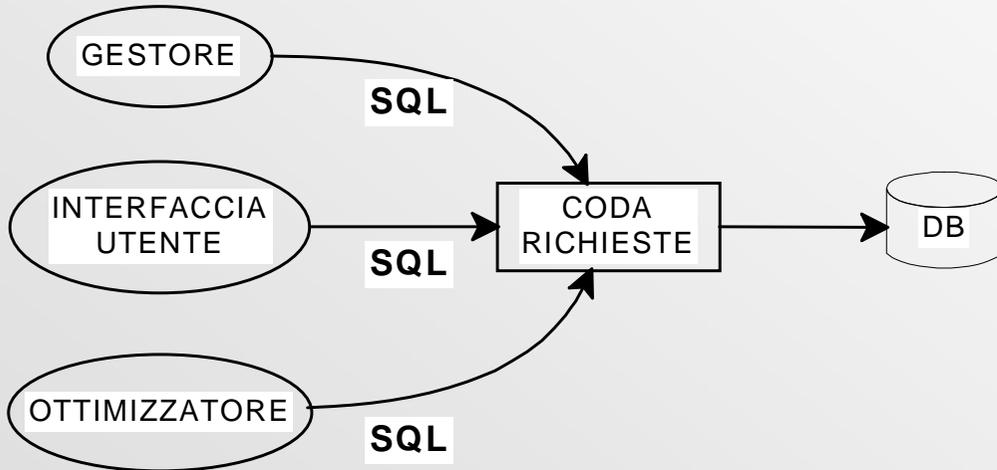
FACTOSERVER



Problema: Sia il gestore che l'ottimizzatore assorbono completamente tutte le risorse computazionali del processore

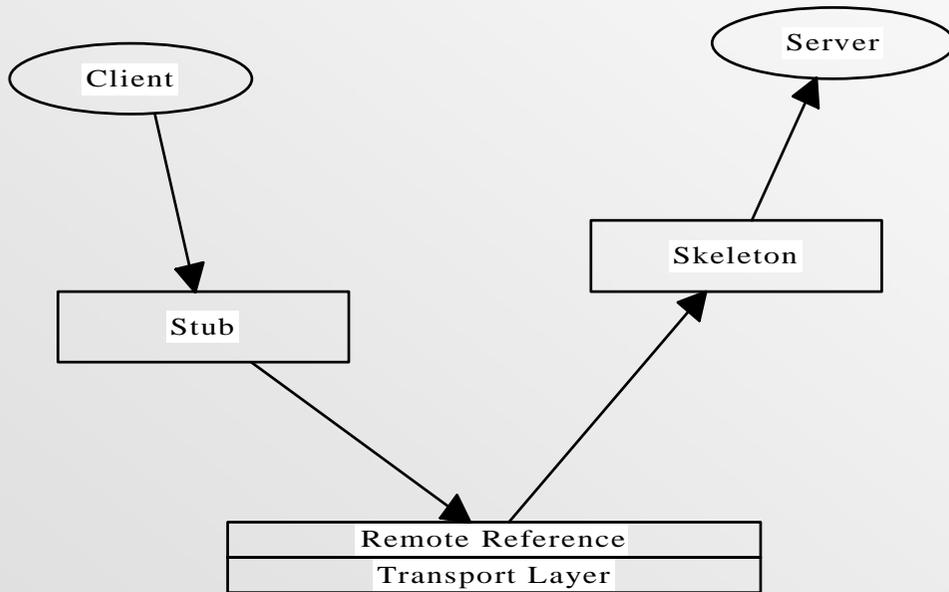
- Il gestore opera come thread in modo da permettere di utilizzare l'interfaccia utente
- L'ottimizzatore opera come thread quando è attivo il gestore
- Ad ognuno dei thread è rilasciata una percentuale di CPU

Programmazione concorrente e di tempo reale

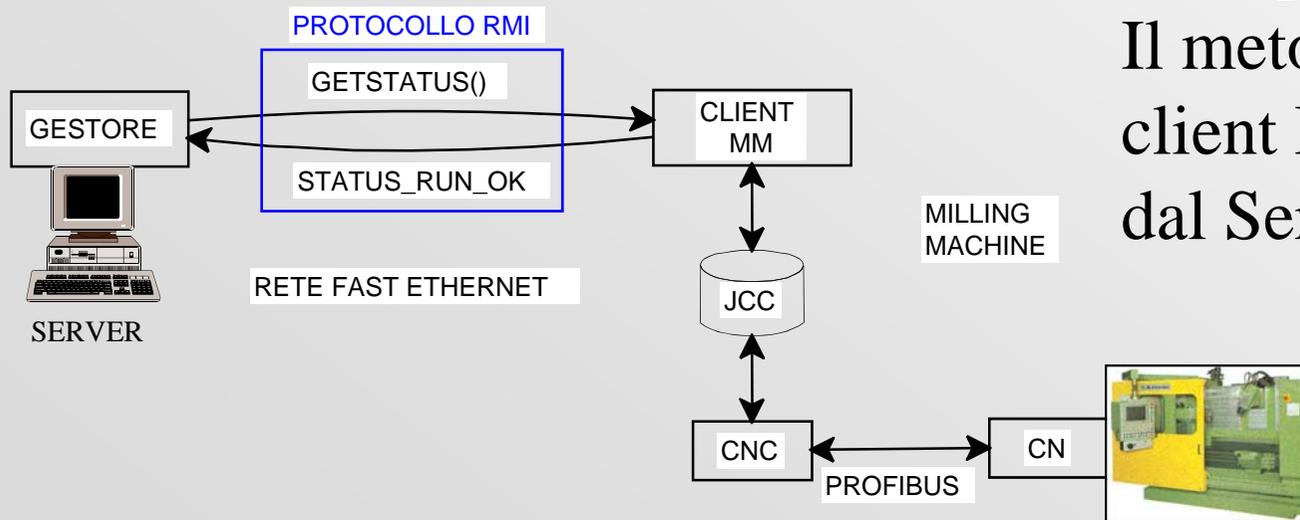


Le interrogazioni (SQL) al DB possono essere concorrenti e corrompere il database. Per tale motivo sono organizzate in una coda

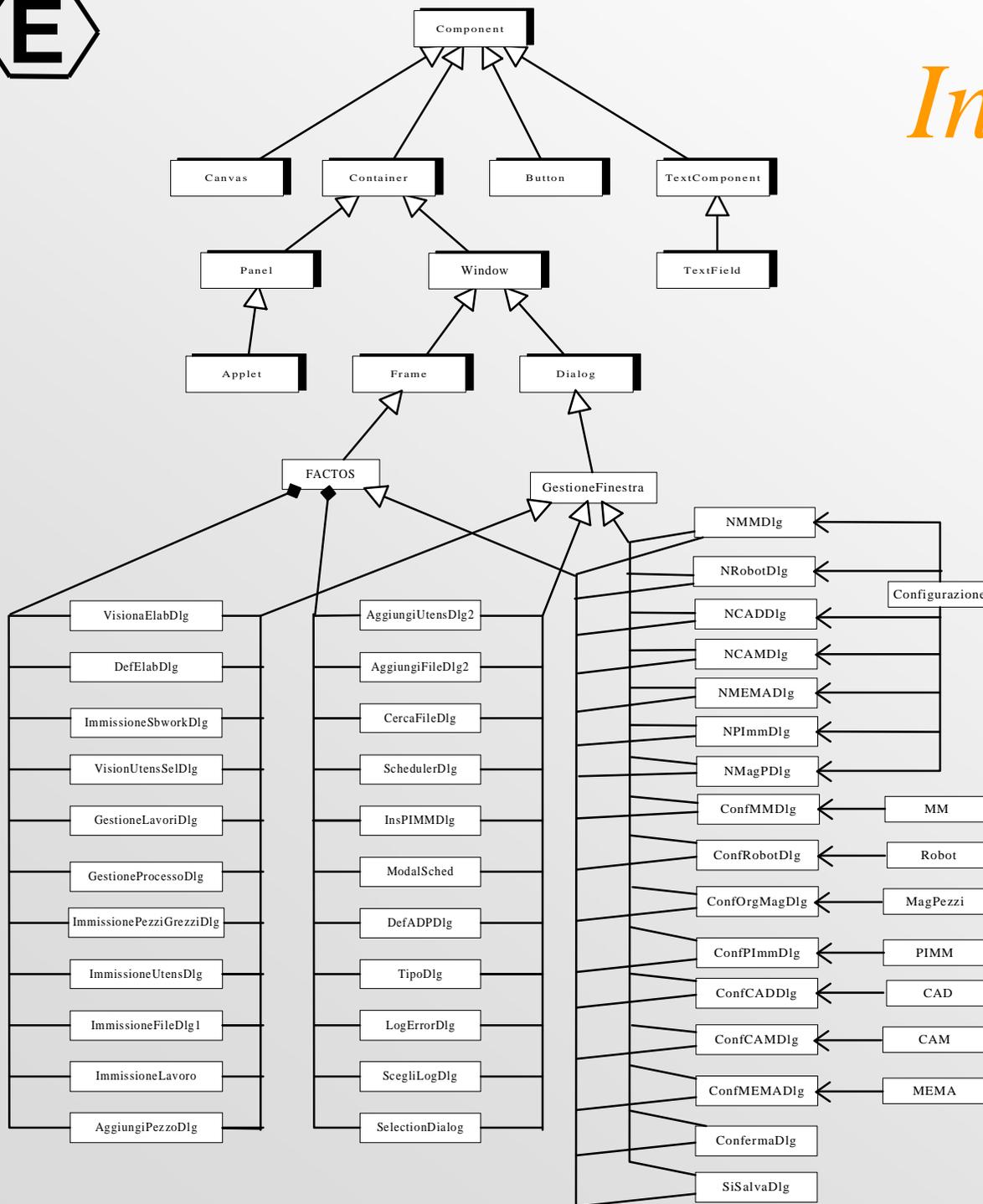
RMI - (Remote Method Invocation)



- Protocollo per l'elaborazione distribuita delle informazioni
- Permette di utilizzare oggetti e metodi remoti come se fossero locali



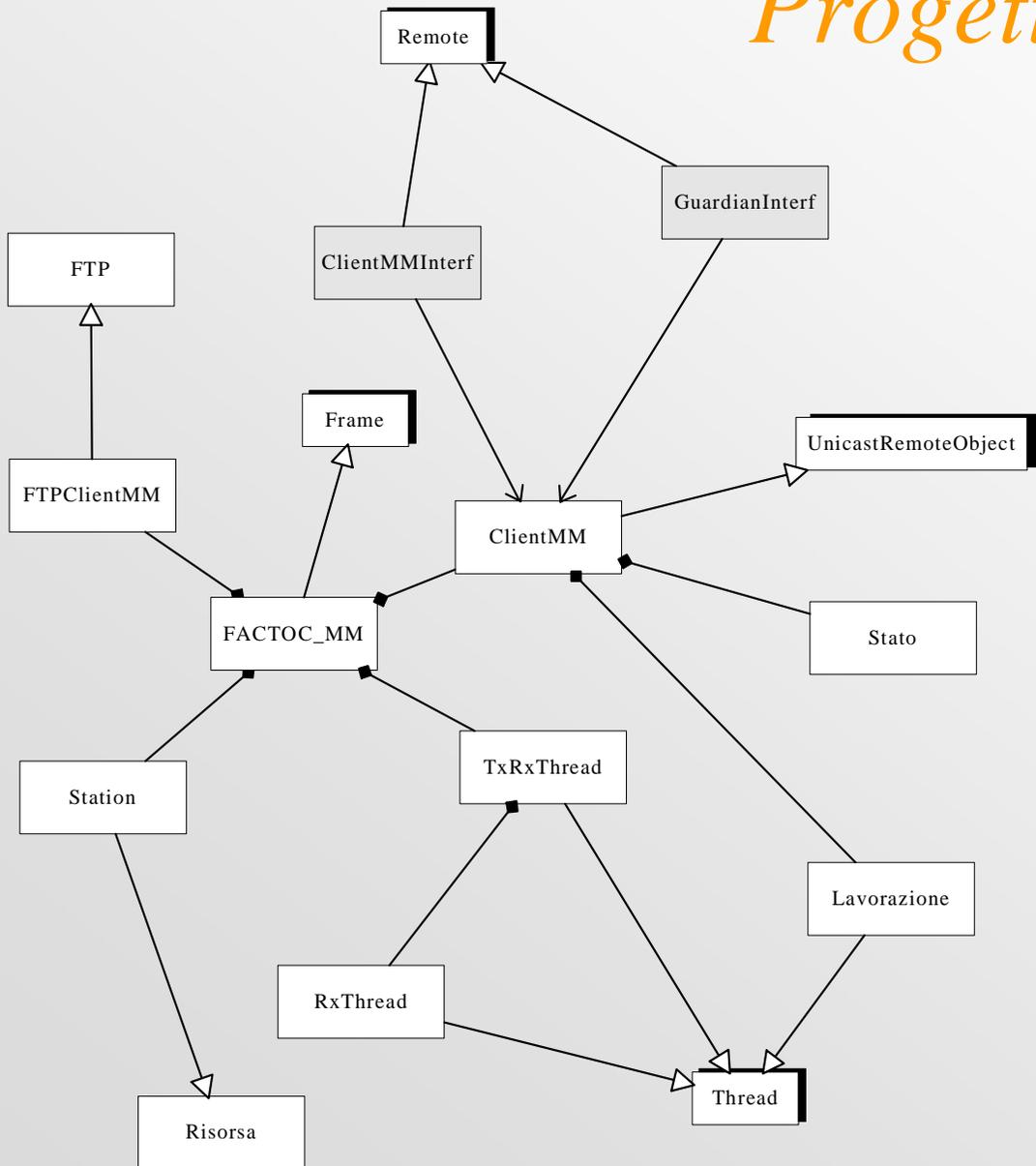
Esempio: richiesta stato MM
 Il metodo `GetStatus()` risiede sul client MM ma viene utilizzato dal Server



Interfaccia utente

- Utilizzo dei package AWT e Swing
- Ergonomicità dell'interfaccia utente sulla base delle necessità
- Richiesta in termini di memoria assai pesante (garbage collection non efficiente): tutte le finestre sono statiche

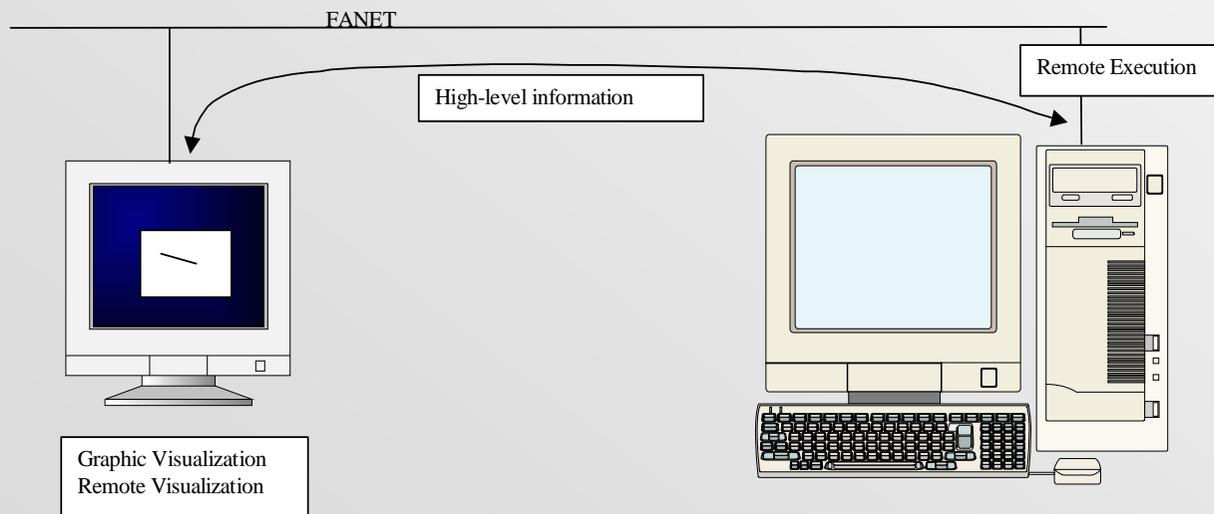
Progettazione e codifica client



- Modellazione ad oggetti delle funzionalità dei client
- Ogni client tiene conto delle differenti richieste della risorsa su cui risiede (CAD, CAM, ADP, MM, PIM M, MEMA)
- Grazie ad OO è semplice estendere funzionalità ed aggiungere client

Integrazione di sistema

- Configurazione centralizzata delle risorse
- Controllo remoto
- esecuzione remota
- FTP (funzionale alle lavorazioni: i files vengono veicolati tra le risorse automaticamente)





In numeri

- Numero di classi: 246
- Dimensione sorgenti: oltre 2MB
- Oltre 1000 funzionalità
- Per esempio:
 - scheduler:
 - ClientMM
 - Config
 - Ottimizzatore
 - database: NML=..... , NAL=



Valutazione critica - 1

- Prospettive di successo scientifico e tecnologico
- evoluzione raggiunta e prevedibile delle tecnologie concorrenziali con quella sviluppata
- prospettive dei mercati interessati dal progetto e ricavi attesi
- conformità del progetto agli indirizzi strategici aggiornati dell'impresa
- giudizio sull'opportunità di continuare il progetto



Prospettive di successo scientifico e tecnologico

Aspetti innovativi:

- Generalizzazione di una vasta tipologia di problemi relativi alla produzione di stampi
- Modellazione ad oggetti di un sistema di risorse appartenenti all'isola di produzione e parzialmente all'intera fabbrica
- Studio di modelli di ottimizzazione della pianificazione a partire da una soluzione iniziale fattibile al fine di ridurre i tempi di completamento, bilanciamento del carico sulle macchine, etc.
- Studio e definizione di un gestore delle macchine dell'isola di produzione
- Realizzazione di un supporto distribuito che integra i suddetti punti



evoluzione raggiunta e prevedibile delle tecnologie concorrenziali con quella sviluppata

- Quattro livelli di controllo e supervisione:
 - **ERP** (Enterprise Resource Planning)
 - **MRP** (Manufacturing Resource Planning)
 - **MES** (Manufacturing Execution System)
 - **CNC** (Computerized Numerical Control)
- Competitori: Gruppo Orsi, Siemens, Breton, Axioma, Cybertech, Sata, Datacron, MicroArea
- Tutte le soluzioni proposte mancano di un legame effettivo tra l'area gestionale e l'area esecutiva
- Spesso soluzioni limitate all'area NT con preclusione dell'area CAD/CAM (Area UNIX). Con l'adozione di Java questo diviene possibile



prospettive dei mercati interessati dal progetto e ricavi attesi

- Il mercato mondiale delle “manufacturing-specific packaged-applications” è valutato in crescita da 6 a 10,5 miliardi di dollari nel periodo 1999-2003, espansione che corrisponde a un tasso medio annuo del 13,7% (fonte: Idc)
- Per il mercato mondiale dei sistemi di controllo avanzato e ottimizzazione è prevista una crescita del 15% annuo (*AMR Research*)
- Il mercato del software per sistemi di programmazione e scheduling avanzati sta realizzando una crescita annua del 35%. (*Automation Research Corporation*)
- Data l’elevata richiesta di soluzioni integrate nel processo di produzione degli stampi Elexa stima che la soluzione proposta possa avere un notevole successo negli anni a venire



Conformita' del progetto e nostro giudizio

- Il progetto in questione è di notevole interesse industriale visto che non esistono al riguardo soluzioni analoghe sul mercato
- Il progetto risulta strategico per l'azienda visto che la realizzazione di sistemi di controllo è il suo primo mercato e che tale mercato si sta ormai consolidando al punto da non presentare evoluzioni significative ma solo di manutenzione
- Con la realizzazione del progetto vengono sicuramente conseguiti risultati all'avanguardia rispetto allo stato dell'arte poiché gran parte di questi sono già stati prodotti



Scostamenti

Rispetto alla pianificazione riportata nel capitolato tecnico non si riscontrano particolari scostamenti dal punto di vista delle attività da effettuare e dai risultati da produrre. Il modello prodotto è sufficientemente generale da poter essere utilizzato a livello sia di singola isola che a livello di fabbrica quando questa è delle dimensioni delle tipiche fabbriche di stampi.



Conclusioni

- Alexa e' entusiasta dei risultati ottenuti
- crede fermamente che il lavoro effettuato possa essere utilizzato in prodotti futuri

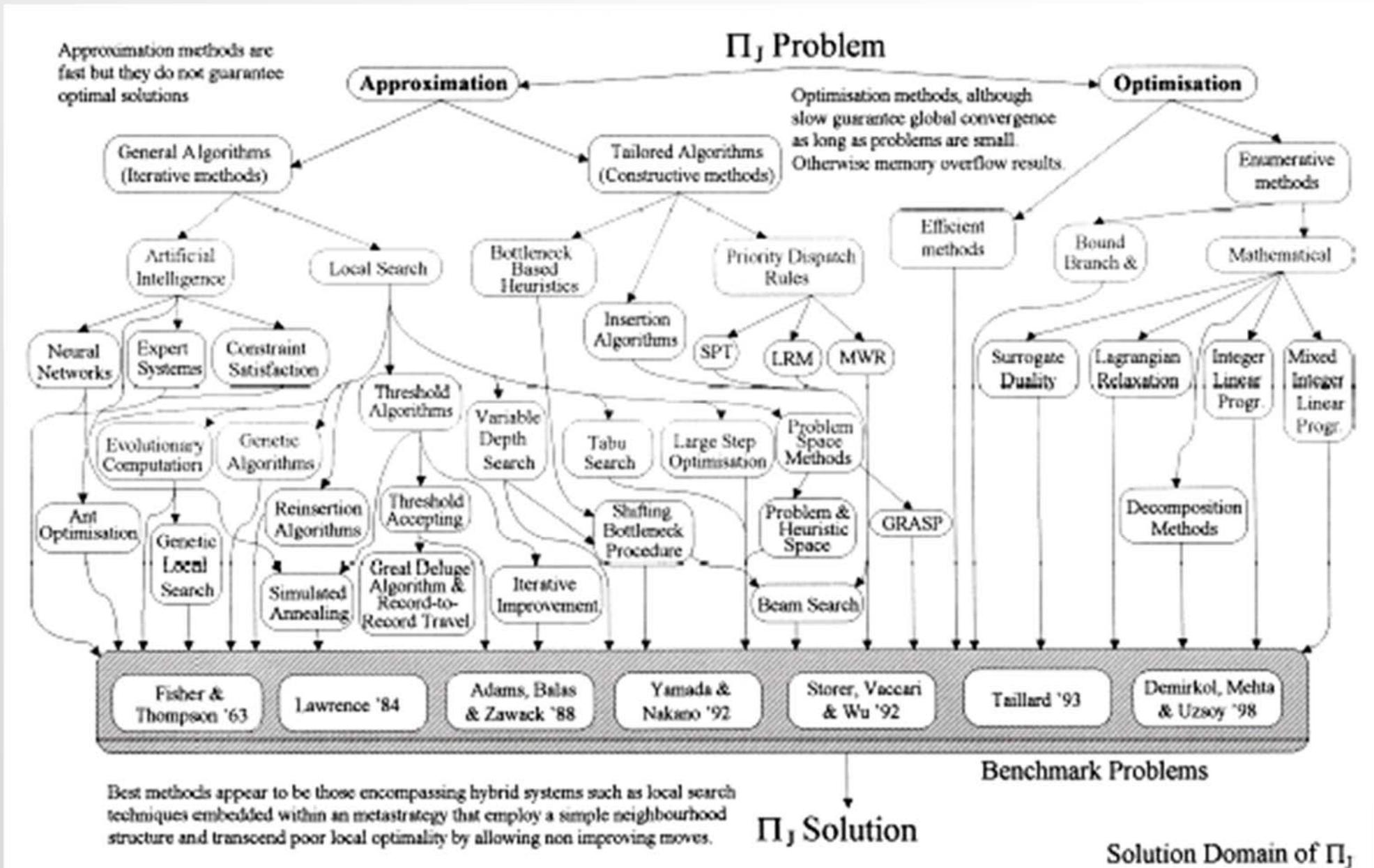


Fig. 1. The phases of Π_j research.



Complessita` computazionale

- Complessita` : $o(RN^3)$, dove
 - $R=n^o$ di risorse utilizzate
 - $N=n^o$ di task da ottimizzare
- Oltre i 50 task e` opportuno selezionare aleatoriamente un sottoinsieme di task ad ogni iterazione:
 - percSelezione tra 0 (nessun task) e 1 (tutti)
 - curve di Bezier

JCC - Java C++ Communication

