

# SISTEMI ESPERTI

---

- **Sistemi Basati Sulla Conoscenza (1980)**
- Un sistema **basato sulla conoscenza** è un sistema in grado di risolvere problemi in un **dominio limitato** ma con prestazioni **simili** a quelle di un **esperto** umano del dominio stesso.
- Generalmente esamina un largo numero di possibilità e costruisce dinamicamente una soluzione.
- *“La potenza di un programma intelligente nel risolvere un problema dipende primariamente dalla **quantità e qualità** di conoscenza che possiede su tale problema”. (Feigenbaum)*

# SISTEMI ESPERTI (2)

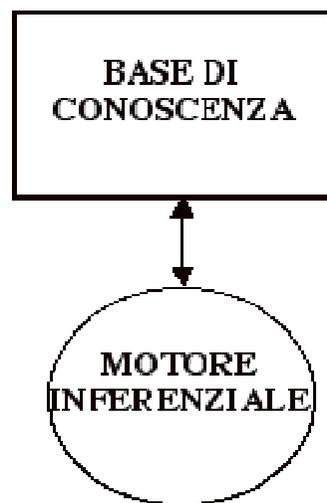
---

- Il programma non è un insieme di **istruzioni immutabili** che rappresentano la soluzione del problema, ma un ambiente in cui:
  - rappresentare;
  - utilizzare;
  - modificare;
  - una **base di conoscenza**.
- Caratterizzato dalle seguenti **proprietà**:
  - *Generalità.*
  - *Rappresentazione esplicita della conoscenza.*
  - *Meccanismi di ragionamento.*
  - *Capacità di spiegazione.*
  - *Capacità di operare in domini mal strutturati.*

# PRINCIPI ARCHITETTURALI

---

- Ogni sistema basato sulla conoscenza deve riuscire ad esprimere **due** tipi di conoscenza in modo **separato** e **modulare**:
  - Conoscenza sul dominio dell'applicazione (**COSA**);
  - Conoscenza su **COME** utilizzare la conoscenza sul dominio per risolvere problemi (**CONTROLLO**).
- **Problemi:**
  - Come esprimere la conoscenza sul problema?
  - Quale strategia di controllo utilizzare?



# SISTEMI DI PRODUZIONE

---

- Un sistema a regole di produzione (production system) è costituito da tre componenti fondamentali:
  - **Base di conoscenza a regole** (che prende spesso il nome di “memoria a lungo termine”) in cui sono contenute le regole di produzione;
  - **Memoria di lavoro** (memoria a breve termine) in cui sono contenuti i dati e in cui vengono mantenute le conclusioni raggiunte dal sistema;
  - **Motore inferenziale.**
- Ogni regola di produzione ha la seguente forma:
  - **if <condizione/pattern/LHS> then <conclusione/azione/RHS>**
  - L’azione puo’ modificare la memoria di lavoro o produrre effetti collaterali

# STRATEGIE DI CONTROLLO

---

- Tipicamente strategia forward (in avanti) o controllo guidato dai dati;

```
while <obiettivo non raggiunto> do
```

```
begin
```

```
<MATCH: determina l'insieme delle regole applicabili (cioè  
le regole il cui antecedente è soddisfatto dai fatti  
contenuti nella memoria di lavoro)>;
```

```
<CONFLICT_RESOLUTION: seleziona la regola da applicare>;
```

```
<FIRE: esegui l'azione associata alla regola>
```

```
end.
```

# Matching efficiente: l' algoritmo RETE

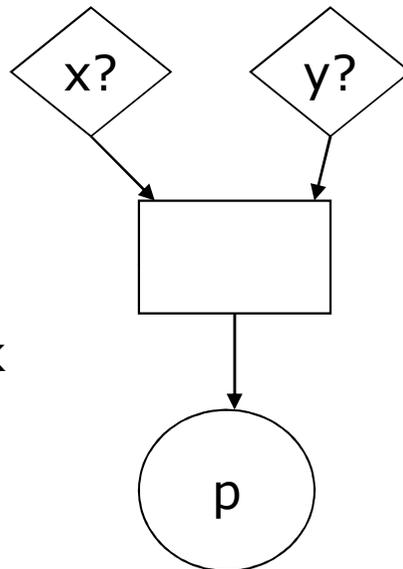
---

- Sviluppato da Charles Forgy nel 1979 (implementato in OPS);
- Presente in quasi tutti i sistemi a regole forward di tipo commerciale
- Sistemi esperti reali: migliaia di regole, problemi di efficienza;
- Aumentare l'efficienza della parte di pattern matching evitando di fare il test sequenzialmente regola per regola;
- Crea un albero decisionale in cui ogni nodo corrisponde ad un pattern nella parte sinistra della regola (LHS);
- Ogni nodo ricorda i fatti che soddisfano la regola;
- LHS complete sono definite come strade dalla radice alla foglia;

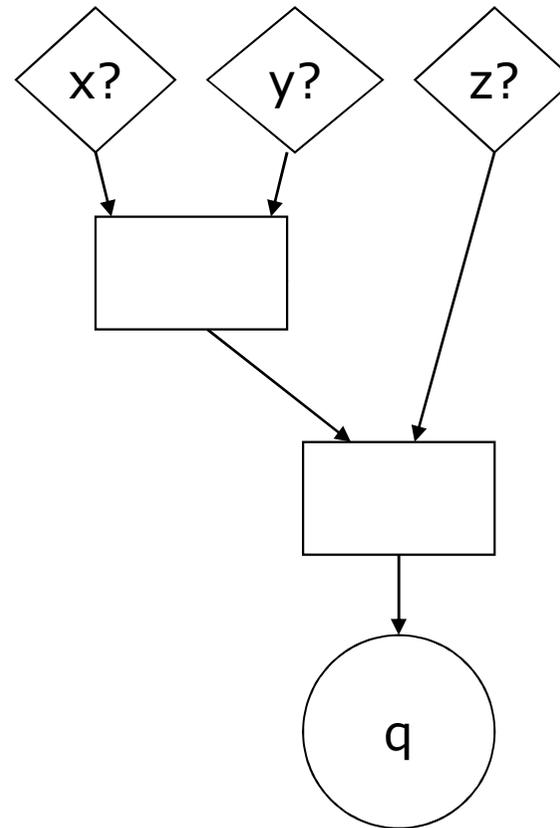
# Esempio 1:

Rules: IF x & y THEN p  
IF x & y & z THEN q

Pattern Network



Join Network



8 nodes

(<http://aaaproduct.gsfc.nasa.gov/teas/Jess/JessUMBC/sld010.htm>)

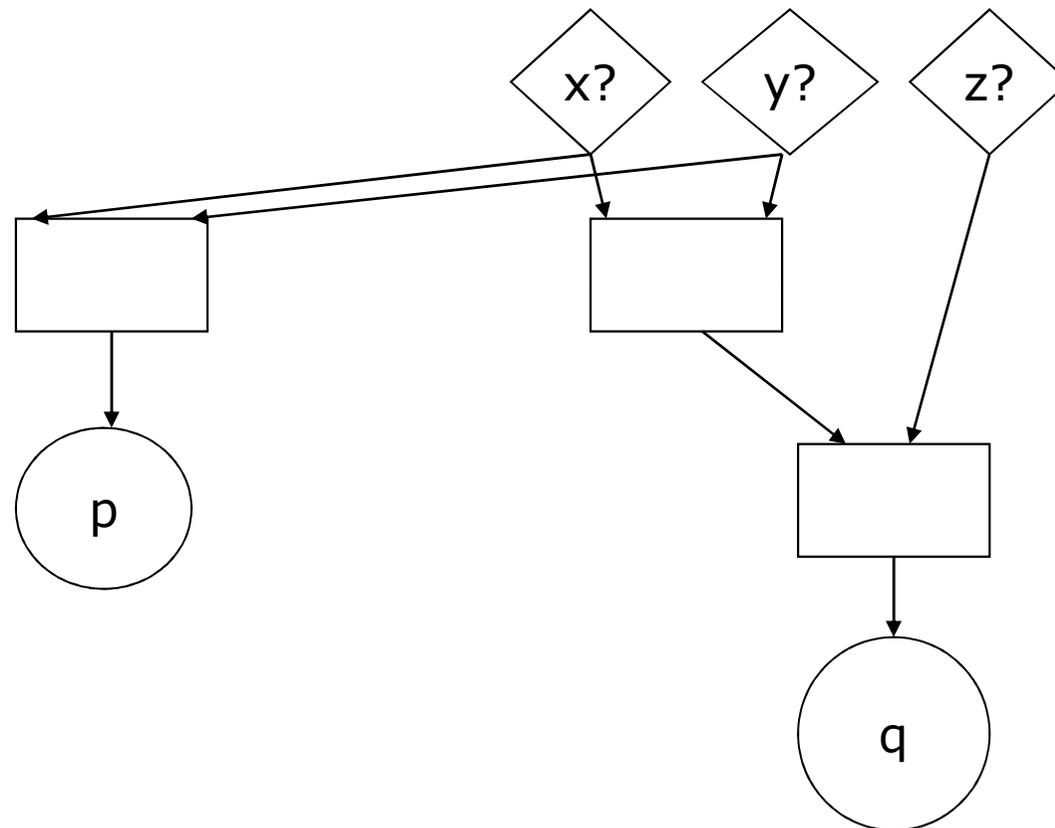
## Rete esempio (2)

Rules: IF x & y THEN p  
IF x & y & z THEN q

Pattern  
Network

Join Network

6 nodes



(<http://aaaproduct.gsfc.nasa.gov/teas/Jess/JessUMBC/sld010.htm>)

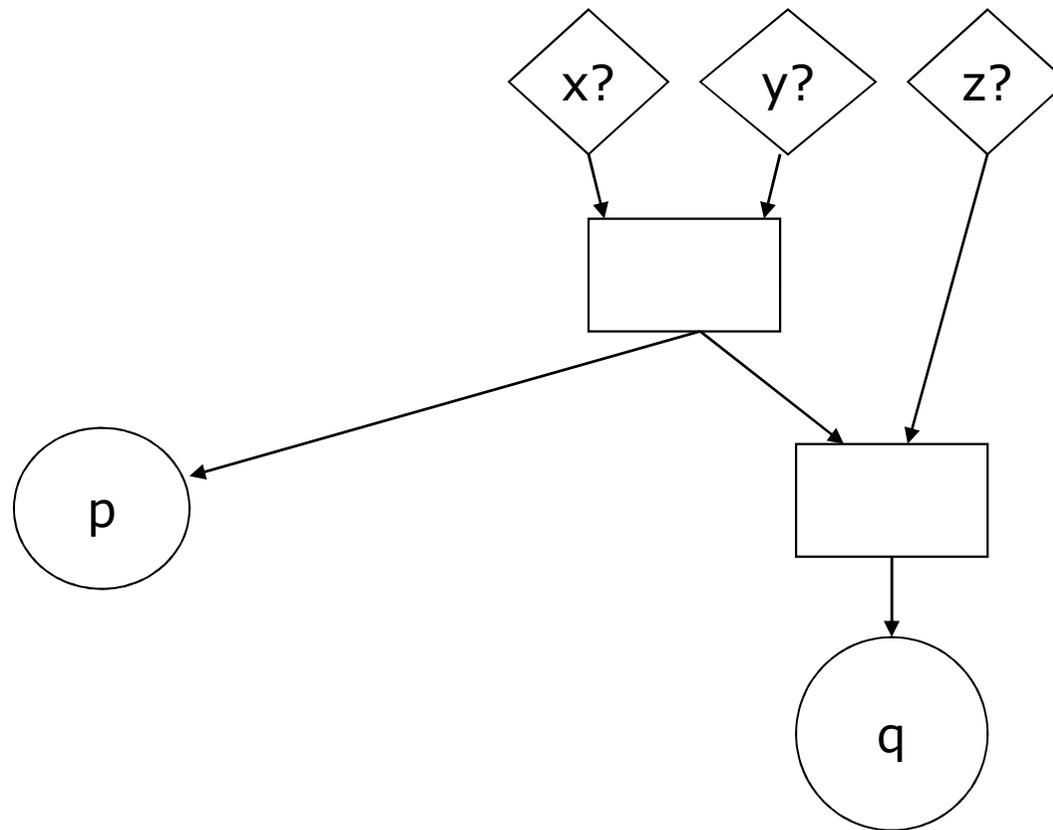
# Rete esempio (3)

Rules: IF x & y THEN p  
IF x & y & z THEN q

Pattern Network

Join Network

5 nodes



<http://aaaproduct.gsfc.nasa.gov/teas/Jess/JessUMBC/sld010.htm>

# Conflict Resolution

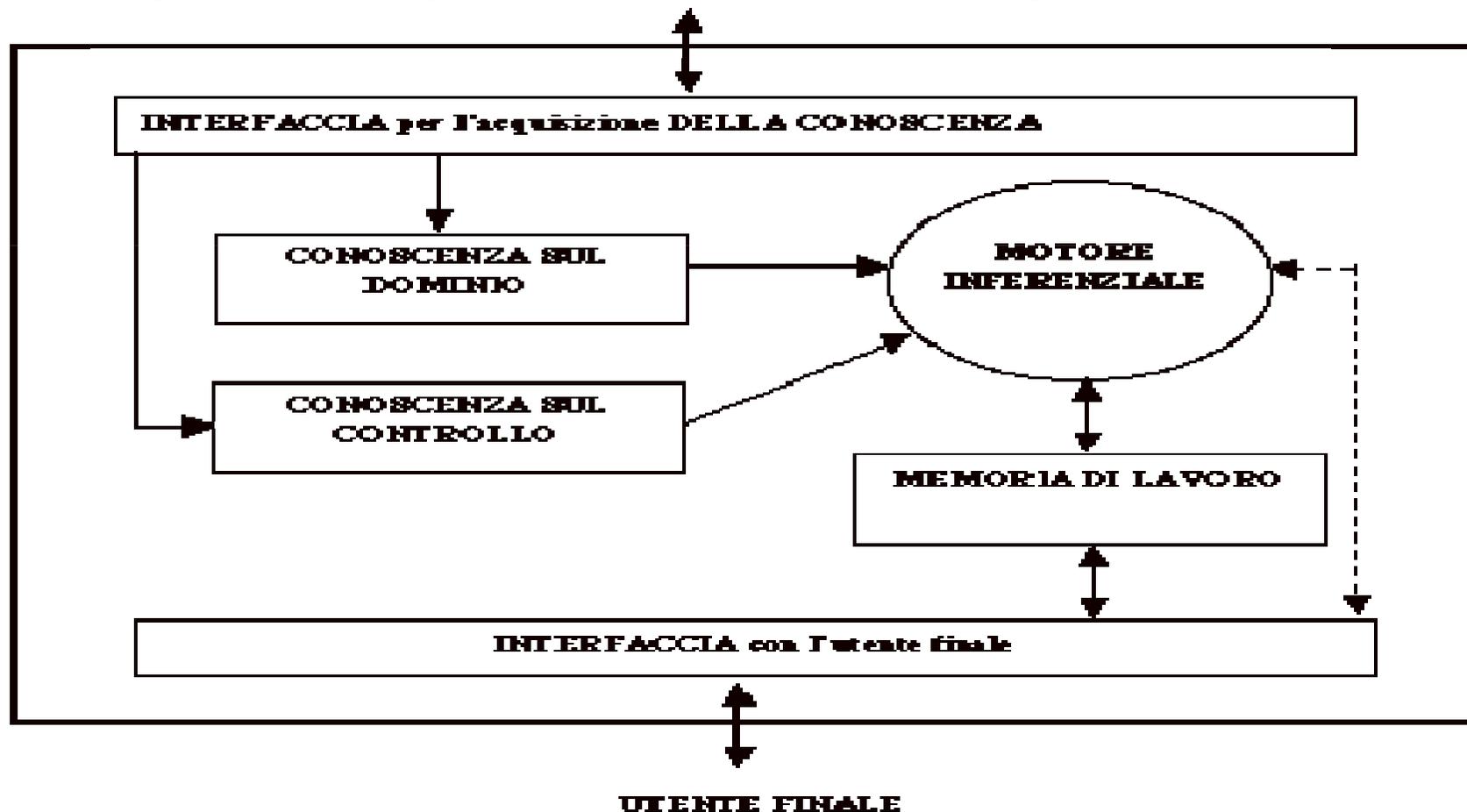
---

- Fase di decisione fra regole applicabili (**pattern matching**) e quelle che si applichera` effettivamente (**fire**)
- Tutte le regole che hanno le condizioni soddisfatte sono inserite nell'**AGENDA** (**conflict set**)
- **Conflict resolution** seleziona quale regola applicare
- I Tools per Sistemi Esperti offrono diverse **strategie** per la conflict resolution
  - La piu' specifica;
  - La meno specifica;
  - La piu' prioritaria;
  - La piu' recente (l'ultima diventata attiva, recente modifica dell'item nella memoria di lavoro..
  - Ecc..
  - Inoltre nessuna regola gia' scattata dovrebbe essere selezionata nuovamente con gli stessi item della memoria di lavoro

# SISTEMI BASATI SULLA CONOSCENZA ARCHITETTURA

- Rappresentazione della Conoscenza:

**Esperto del dominio (INGEGNERE DELLA CONOSCENZA)**



# SISTEMI BASATI SULLA CONOSCENZA ARCHITETTURA

---

- **Rappresentazione della Conoscenza:**
  - Regole;
  - Frames;
  - Proposizioni Logiche;
  - Vincoli;
  - Procedure;
  - Demoni;
  - Oggetti;
  - Fattori di Certezza, Variabili Fuzzy.....
  
- **Modalità di Inferenza:**
  - Ragionamento *forward*;
  - Ragionamento *backward*;
  - Risoluzione;
  - Propagazione di vincoli;
  - Strategie di ricerca euristiche;
  - Ragionamento Ipotetico ed Abduttivo....

# PASSI DI PROGETTAZIONE

---

- **IDENTIFICAZIONE** delle caratteristiche del problema.
- **CONCETTUALIZZAZIONE.**
- **FORMALIZZAZIONE:** progetto della struttura in cui organizzare la conoscenza.
- **IMPLEMENTAZIONE:** scrittura effettiva della conoscenza sul dominio.
- **VALIDAZIONE.**
  
- **SCELTA DI UN TOOL:**
  - non bisogna utilizzare un Tool più generale del necessario;
  - bisogna testare il Tool costruendo un piccolo prototipo del sistema;
  - bisogna scegliere un Tool che sia affidabile ed mantenuto da chi lo ha sviluppato;
  - quando il tempo di sviluppo è critico, è bene scegliere un Tool con *facilities* di spiegazioni/interazione incorporate;
  - bisogna considerare le caratteristiche del problema per determinare le caratteristiche che deve avere il Tool.

# INGEGNERIA DELLA CONOSCENZA AMBIENTI

---

- a) **Skeletal systems** (SHELL)
  - Ottenuti togliendo da Sistemi Esperti già costruiti la conoscenza propria del dominio e lasciando solo il motore inferenziale e le *facilities* di supporto.
  - EMYCIN (Empty MYCIN) deriva da MYCIN;
  - KAS deriva da PROSPECTOR;
  - EXPERT deriva da CASNET.
- b) **Sistemi general-purpose** (TOOLS);
  - KEE, ART, Knowledge-Craft, Nexpert, KAPPA
  - non sono strettamente legati a una particolare classe di problemi: essi permettono una più ampia varietà di rappresentazione della conoscenza e strutture di controllo.
- c) **Linguaggi simbolici** (Prolog, Lisp) e non (C, C++).

# Tools per sistemi a regole:

---

Molto interesse anche industriale in applicazioni web based, che fanno uso di layer dedicati al reasoning per catturare la conoscenza in modo dichiarativo: Semantic Web, business Rules ecc.

- Esempi commerciali:
  - **JRules**
    - JRules, prodotto dalla ILOG [www.ilog.com](http://www.ilog.com), (commerciale) è uno strumento per costruire sistemi esperti che combina tecniche di inferenza basate sulle regole di produzione e programmazione ad oggetti al fine di potere applicare queste tecniche alle più diverse applicazioni.
  - **Jess**
    - Java Expert System Shell <http://herzberg.ca.sandia.gov/jess/> è nato nel 1995 come clone java di CLIPS per poi differenziarsi grazie a numerose nuove funzionalità. Utilizza l'algoritmo RETE per il Forward chaining ma è in grado di lavorare anche in backward-chaining in modo efficiente;
    - La sintassi delle regole è macchinosa (LISP).

# Tools per sistemi a regole (Open Source)

---

## – **JEOPS**

- JEOPS (Java Embedded Object Production System) è un tool open-source pensato per il Java Developer e permette essenzialmente di implementare la parte di regole a partire da un file di configurazione. Non si tratta di una libreria da utilizzare per le proprie applicazioni ma di un vero e proprio precompilatore che genera i sorgenti java necessari a realizzare la logica richiesta con l'algoritmo RETE (forward-chaining). <http://sourceforge.net/projects/jeops/>.

## – **MANDARAX**

- è una libreria open-source di classi java per regole di deduzione. Fornisce una infrastruttura per definire, gestire e interrogare una base di regole.
- implementa un algoritmo in backward chaining, simile a Prolog.
- partecipa attivamente allo sviluppo di RuleML e permette di usare tale formato per salvare e caricare la knowledge-base in modo nativo. <http://www.mandarax.org>.

## – **CLIPS**

- CLIPS è un tool di pubblico dominio scritto in linguaggio C ed è stato usato come base di partenza per lo sviluppo di molti altri tools di sistemi esperti, tra cui Jess e Drools ed è supportato anche da Protégé (editor di ontologie). <http://www.ghg.net/clips/CLIPS.html>.

## – **Algernon**

- è implementato in Java e si interfaccia con Protégé. Algernon esegue sia il forward che il backward chaining su basi di conoscenza frame-based.
- La base di conoscenza può essere gestita con Protégé che supporta i linguaggi Schema, RDF, OWL ed altri. <http://algernon-j.sourceforge.net/download/>.

# DROOLS

---

- Drools (<http://www.jboss.org/drools>) è una suite modulare per lo sviluppo e la gestione di sistemi avanzati basati su regole.
- E' open source e basato su Java; è in continuo sviluppo, anche grazie ad una numerosa comunità di contributors, ed è attualmente alla versione 5.x .
- Il suo rule engine è basato sull'algoritmo RETE (forward-chaining), mentre le regole sono scritte usando un linguaggio proprietario.
- Al pari di sistemi commerciali della stessa classe (es. ILOG) fornisce supporto per eventi (KB con vincoli temporali) e workflow (flussi di esecuzione).
- Lo vedremo in laboratorio.
- Sono disponibili approfondimenti per tesine/laboratorio
- Referente: Ing. Davide Sottara PhD :dsotty@gmail.com

# APPLICAZIONI

---

- **Migliaia** di Sistemi Esperti nei settori più svariati.
  - **Interpretazione:** Si analizzano dati complessi e potenzialmente rumorosi per la determinazione del loro significato (Dendral, Hearsay-II).
  - **Diagnosi:** Si analizzano dati potenzialmente rumorosi per la determinazione di malattie o errori (Mycin, ...).
  - **Monitoring:** I dati si interpretano continuamente per la generazione di allarmi in situazioni critiche. Al sistema è richiesta una risposta in tempo reale soddisfacente (VM).
  - **Planning e Scheduling:** Si determina una sequenza intelligente di azioni per raggiungere un determinato obiettivo (Molgen).
  - **Previsione** (economica, politica ecc.) : Si desidera costruire un sistema in grado di prevedere il futuro in base a un appropriato modello del passato e del presente (Prospector).
  - **Progetto e configurazione:** Il Sistema Esperto deve essere in grado di progettare sistemi partendo da ben determinate specifiche (R1, XCON).

# OBIETTIVO DELLE CATEGORIE DI APPLICAZIONE

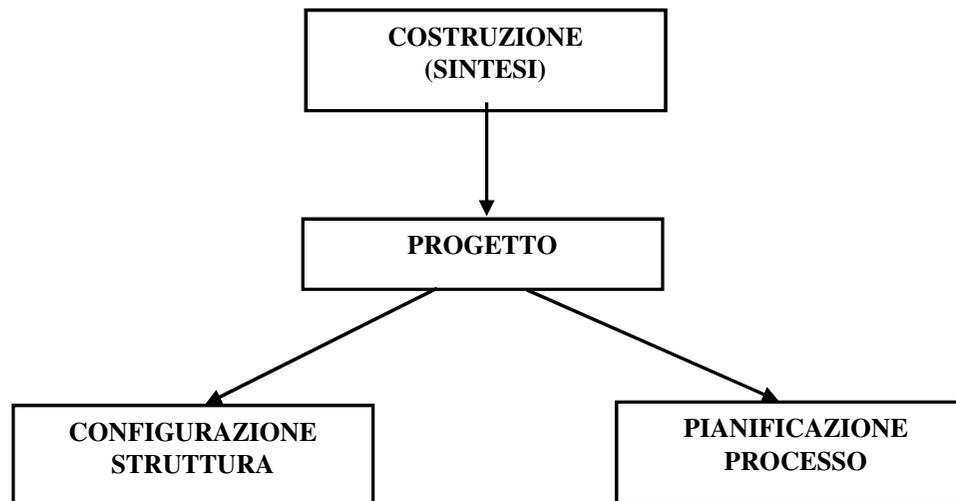
---

- **Interpretazione:** Inferire descrizioni di situazioni da dati rilevati da sensori.
- **Predizione:** Inferire conseguenze future da una data situazione.
- **Diagnosi:** Inferire malfunzionamenti da osservazioni.
- **Progetto:** Configurare oggetti rispettando vincoli.
- **Pianificazione:** Progettare sequenze di azioni.
- **Monitoring:** Confrontare osservazioni in tempo reale per identificare situazioni di allarme.
- **Debugging:** Prescrivere rimedi per malfunzionamenti.
- **Riparazione:** Eseguire un piano per ottenere il rimedio necessario
- **Insegnamento:** Diagnosi, Debugging e Riparazione del comportamento di uno studente.
- **Controllo:** Interpretare, Predire, Riparare, a Monitorare il comportamento di un sistema.
- Alcune applicazioni ne includono altre.

# CLASSIFICAZIONE: SISTEMI DI ANALISI

---

- Si possono classificare i S.E. in base alle operazioni svolte:
  - di quelle che interpretano un sistema (analisi).



# CLASSIFICAZIONE E DIAGNOSI

---

- W. J. Clancey, Heuristic Classification, Artificial Intelligence 27, North Holland, 1985 pp 289-350.
- Il più semplice tipo di classificazione consiste nell'identificare alcuni oggetti sconosciuti o fenomeni come appartenenti a una classe conosciuta di oggetti, eventi o processi.
- Tipicamente queste classi sono tipi organizzati gerarchicamente e il procedimento di identificazione corrisponde al **matching** delle osservazioni di entità sconosciute con caratteristiche note delle classi.

# CLASSIFICAZIONE E DIAGNOSI

---

- **Un esempio: Mycin**
  - Sviluppato da E.M. Shortliffe a partire dal 1972;
- **Obiettivi:**
  - decidere se il paziente ha un'infezione che deve essere curata;
  - determinare, se sì, quale è probabilmente l'organismo infettivo;
  - scegliere fra le medicine adatte per combattere l'infezione quella più appropriata in rapporto alle condizioni del paziente.
  - Mycin risolve il problema di identificare un oggetto sconosciuto dalle culture di laboratorio, mediante un *matching* dei risultati di laboratorio con la gerarchia di batteri.

# CARATTERISTICA ESSENZIALE DELLA CLASSIFICAZIONE

---

- Il motore di inferenza seleziona partendo da un insieme di soluzioni pre-enumerate. Quindi **non costruisce** una nuova soluzione.
- Le evidenze (osservazioni) possono essere incerte per cui il sistema può dare come risposta una lista di possibili ipotesi numerate in ordine di plausibilità.
- Esistono anche regole di inferenza oltre al *matching*.
- In molti problemi le caratteristiche di una soluzione non sono date direttamente come dati, ma sono inferite mediante regole di inferenza che esprimono:
  - **Astrazione definizionale**: basata sulle caratteristiche necessarie di un concetto:
    - “Se è un mammifero allora allatta i figli”.
  - **Astrazione qualitativa**: coinvolge dati quantitativi e li confronta con valori normali:
    - “Se il paziente è adulto e il valore dei globuli bianchi è minore di 2500 allora il valore è basso”
  - **Generalizzazione in una gerarchia di sottotipi**
    - “Se il cliente è un giudice, allora è una persona educata”

# CLASSIFICAZIONE

---

- Classificare un oggetto significa riconoscerlo come appartenente ad una determinata classe.
- Una caratteristica essenziale della classificazione è che seleziona da un insieme predefinito di soluzioni.
- Le classi identificano delle regolarità e tutti i membri di una classe le condividono (condizioni necessarie).
- Di solito escludiamo il caso, denominato configurazione, in cui le soluzioni sono un insieme finito, ma molto ampio e quindi determinato dinamicamente come insieme potenza di elementi più semplici (componenti).

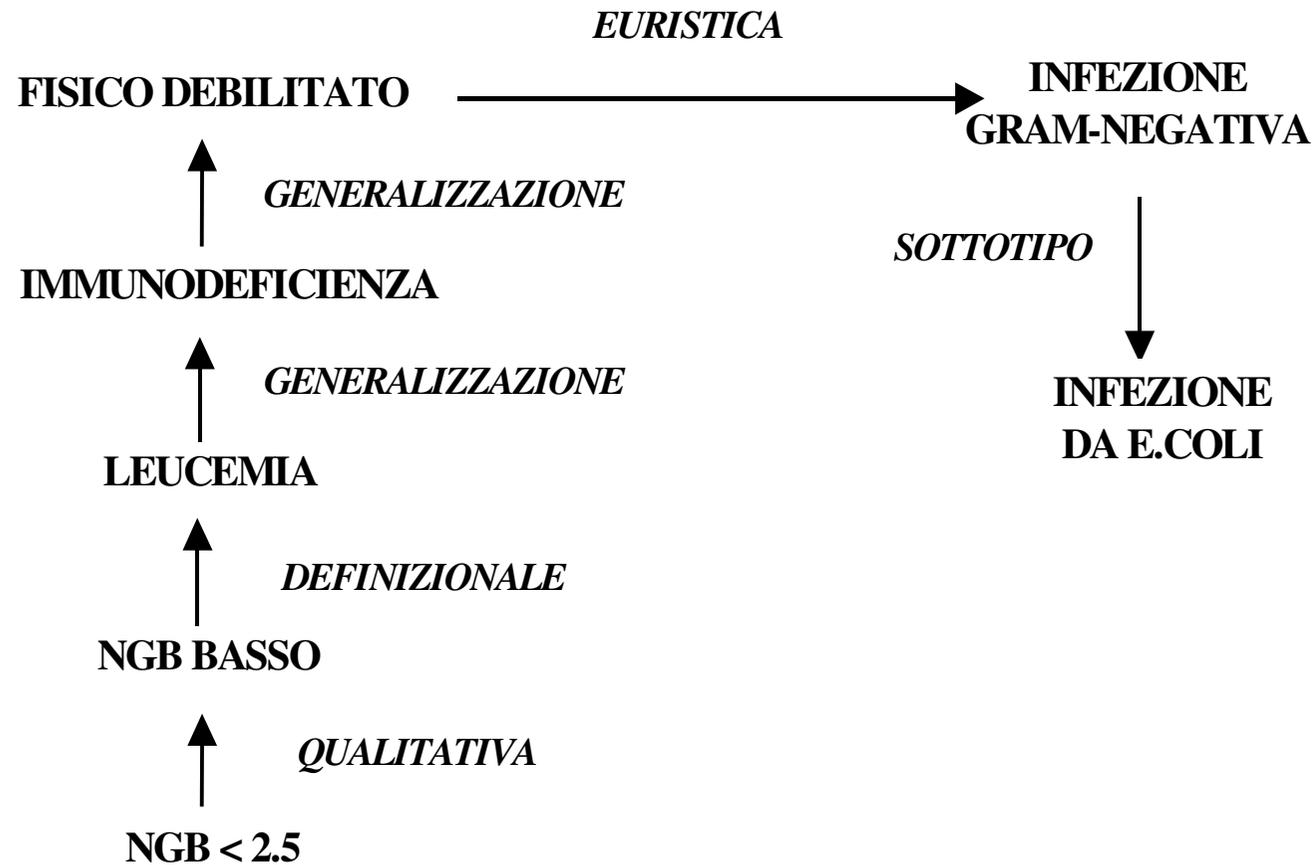
# CLASSIFICAZIONE SEMPLICE ED EURISTICA

---

- Nella classificazione semplice i dati hanno un ***match diretto*** con le caratteristiche delle soluzioni (eventualmente dopo un passo di astrazione).
- Nella classificazione euristica le soluzioni possono anche essere trovate usando un ***matching euristico*** mediante un'associazione diretta e euristica con la gerarchia delle soluzioni.
- Normalmente l'associazione euristica è di tipo empirico.
- In pratica, nella classificazione euristica i dati del problema opportunamente astratti sono associati con classi di soluzioni di problemi.
- **Esempi:** Mycin, Grundy che seleziona i libri che una persona può preferire mediante una classificazione della personalità e poi del libro che può essere più adatto, Sophie che classifica un circuito elettronico in termini dei componenti che causano un malfunzionamento.

# CLASSIFICAZIONE SEMPLICE ED EURISTICA

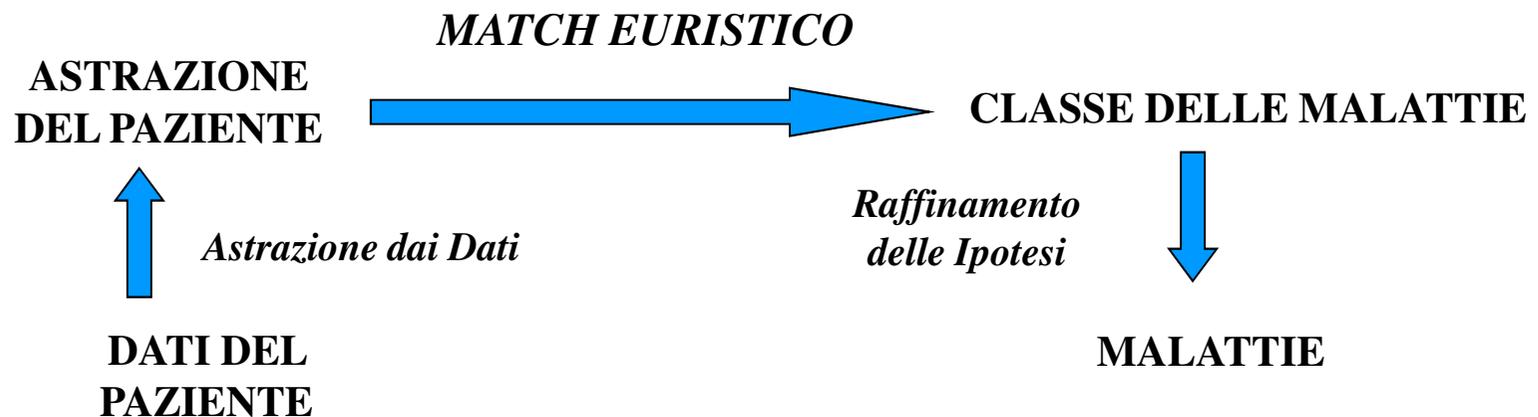
---



# CLASSIFICAZIONE SEMPLICE ED EURISTICA

---

- In pratica, nella classificazione euristica i dati del problema opportunamente astratti sono associati con classi di soluzioni di problemi.



# FATTORI DI CERTEZZA

---

- Compromesso rispetto a un sistema bayesiano puro.
- Introdotti per la prima volta nel Sistema Esperto Mycin.
- Regole non certe (l'implicazione corretta sarebbe invertita) mediate da un **fattore di certezza**.
- Un fattore di certezza è un numero intero “ad hoc” che varia fra +1 e -1.
- Permette l'inserimento di fatti apparentemente contraddittori, ambedue plausibili con differenti valori di certezza.
- **Fatti:**
  - (**<attributo> <entità> <valore>**
  - <fattore di certezza>**).
- Esempi di fatti espressi in Mycin sono (sintassi del Lisp):
  - (**SITE CULTURE-1 BLOOD 1.0**)
  - (**IDENT ORGANISM-2 KLEBSIELLA .25**)
  - (**IDENT ORGANISM-2 E.COLI 0.73**)
  - (**SENSITIVS ORGANISM-1 PENICILLIN -1.0**)

# REGOLE

---

PREMISE <premesse> ACTION <azione>.

PREMISE

(\$AND

(SAME CNTXT INFECT PRIMARY-BACTEREMIA)

(MEMBF CNTXT SITE STERILESITES)

(SAME CNTXT PORTAL G1))

ACTION

(CNTXT IDENT BACTEROIDES 0.7).

- Significato della regola

IF

(1) the infection is primery-bacteremia,

(2) the site of the culture is one of sterilesites, and

(3) the suspected portal of entry of the organism is the  
gastro-intestinal tract,

THEN there is a suggestive evidence

(0.7) that the identity of the organism is bacteroides.

# OSSERVAZIONI

---

- I fattori di certezza iniziali sono forniti dagli esperti.
- Ogni CF in una regola di Mycin rappresenta il contributo della regola al fattore di confidenza di un'ipotesi.
- Rappresenta in un certo senso una probabilità condizionale  $pr(\mathbf{H}/\mathbf{E})$ .
- In un sistema Bayesiano puro però si deve assumere che la sola evidenza rilevante per  $\mathbf{H}$  sia  $\mathbf{E}$ , altrimenti dobbiamo tenere conto delle probabilità congiunte.
- Dunque Mycin assume che tutte le regole siano indipendenti ed è colui che scrive le regole che deve garantire ciò.

# R1

---

- Sviluppato all'Università Carnegie-Mellon da John Mc Dermott per conto della Digital a partire dal 1978.
- COMPITO PRINCIPALE: configurare il calcolatore VAX-11/780 automaticamente.
- In base all'ordine del cliente, R1 è in grado di:
  - assicurare che l'ordine sia completo;
  - determinare le relazioni spaziali fra le componenti.
- Un tipico sistema ha più di 100 componenti con varie possibilità di interazione.
  
- Esperti: technical editors
- \* Nato con un nucleo di 250 regole ora ne possiede circa 2800.
- Dal 1980 è un prodotto funzionante Digital.
- R1 è implementato in OPS-5.

# TIPI DI CONOSCENZA IN R1

---

- a) **Informazione sui componenti:**
  - in memoria di massa sono raccolte informazioni su circa 400 componenti della Digital che il Sistema va a recuperare quando necessario.

```
(RK711-EA
!class bundle
!type disk drive
!supported yes
!component-list 1 070-12292-25
                1 RK07-EA*
                1 RK611)
```
- b) **Conoscenza sui vincoli:**
  - è la conoscenza di come associare determinati componenti per formare configurazioni parziali corrette e di come associare fra di loro le configurazioni parziali

# TIPI DI CONOSCENZA IN R1

---

- b) **Conoscenza sui vincoli:**

- Distributed-mb-devices-3**

- IF: current active context is distributing massbus devices

- AND there is a single port disk drive

- that has not been assigned to a massbus

- AND there are no unassigned dual port disk drives

- AND .....

- THEN:assign the disk drive to the massbus.

- c) **MEMORIA DI LAVORO:**

- tiene traccia della conoscenza che viene accumulata dinamicamente durante il processo di configurazione.

# CONTROLLO IN R1

---

- Forward
- Strategia Irrevocabile
- Tasks non interagenti → sistema di produzione decomponibile
- Nessuna strategia di controllo esplicita
- Ambiente povero
- Regole per il cambio di contesto
- **Check-voltage-and-frequency-1**

IF: the MOST CURRENT ACTIVE CONTEXT is checking voltage  
and frequency

AND there is a component that requires one voltage or  
frequency

AND there is another component that requires a different  
voltage or frequency

THEN: ENTER THE CONTEXT of fixing voltage or frequency  
mismatches.

# S.E. SVILUPPATI DAL GRUPPO DI IA

## Univ. Bologna e Univ. Ferrara

---

- Sistemi **utilizzabili** (almeno allo stato prototipale) nelle Aree:Progetto, Monitoring, Diagnosi, Scheduling.
- **ADES** (ATP Design Expert System) per il **progetto** dei sistemi per il controllo delle stazioni ferroviarie (SASIB);
- **SMA** (Station Master Assistant) per il **monitoring** e la pre-**diagnosi** degli enti della stazione al fine di determinare la fattibilità degli itinerari (SASIB);
- **TSA** (Train Scheduling Assistant) per regolare il traffico dei treni all'interno di una stazione di grosse dimensioni (SASIB).
- **FUN** (Function Point Measurement) per il calcolo dei Function Point per un sistema software.
- Identificazione di difetti in semilavorati meccanici (BERCO S.p.A, approccio mediante apprendimento automatico di regole).
- Sistema Esperto per scelta colore (COROB S.P.A.)

# Sistemi Esperti in campo medico

---

- Diagnosi, verifica degli esami medico-clinici, interpretazione dei dati (DIANOEMA SpA, S..Orsola-Malpighi Bologna). In particolare:
- DNSEV (Expert System for clinical result Validation), per migliorare la qualità del processo di validazione eseguito dai laboratori di analisi biochimica.
- ESMIS (Expert System for Microbiological Infection Surveillance), per migliorare la qualità del processo di validazione eseguito dai laboratori di analisi microbiologica e per monitorare gli eventi infettivi all'interno di un ospedale.
- DNTAO (Expert System for supporting the Oral Anticoagulation Treatment) per il supporto ai medici (ematologia) per le prescrizioni e visite per la Terapia Anticoagulante Orale.
- Definizione di linee guida in campo medico (SPRING)