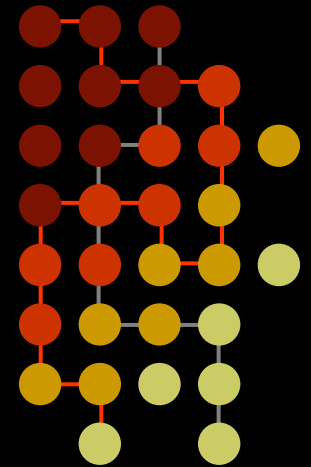
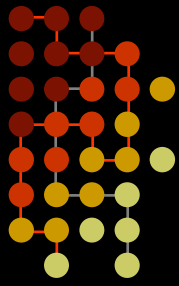


Data Fusion

Fusione di dati sensoriali per la
valutazione e stima di modelli dinamici



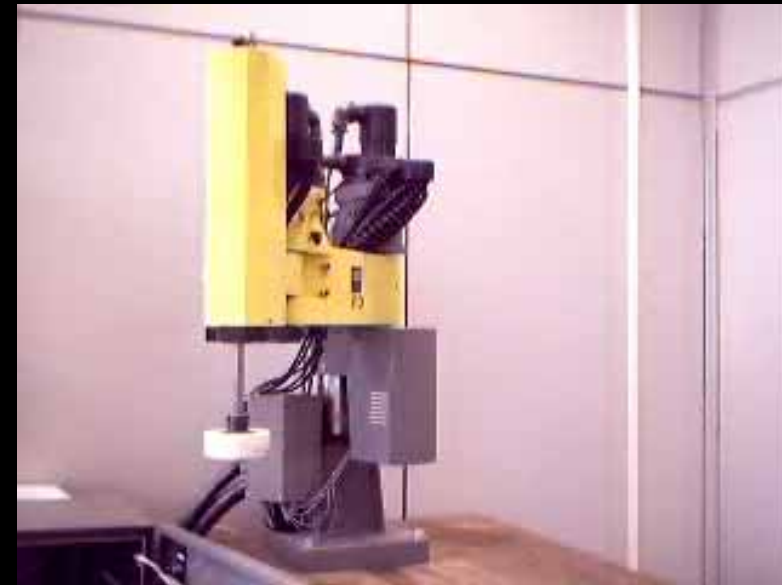
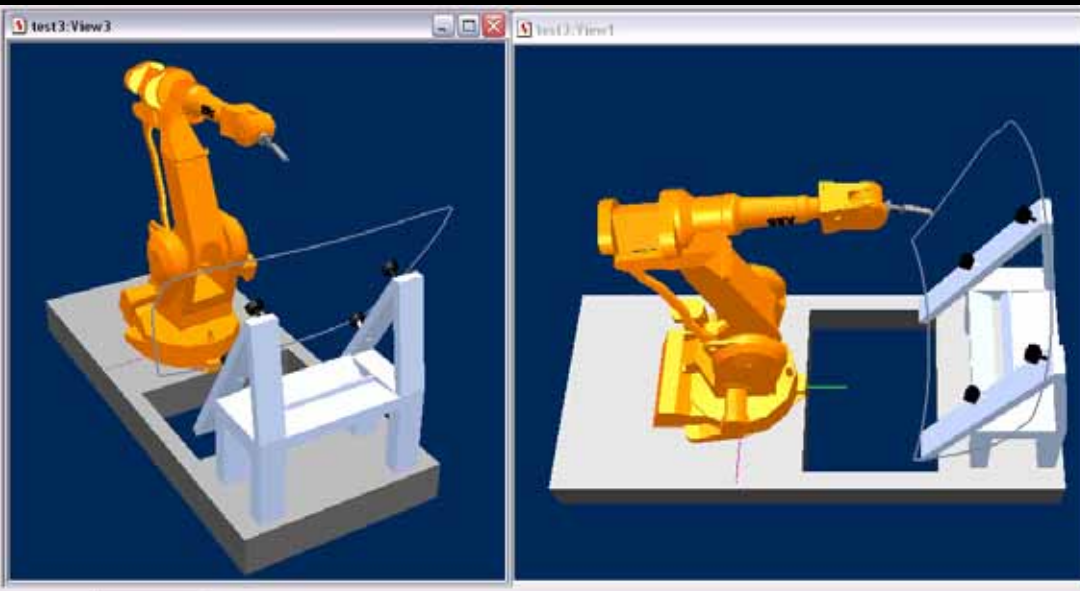
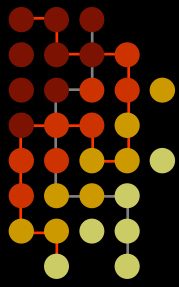
Argomenti



- Sistema Sensoriale e Sistema Cognitivo
- Creazione e gestione dei significati
- Sensor Fusion
- Data Fusion
- Ruolo dell'incertezza
- Approccio probabilistico alla stima
- Logiche fuzzy
- Teoria della possibilità

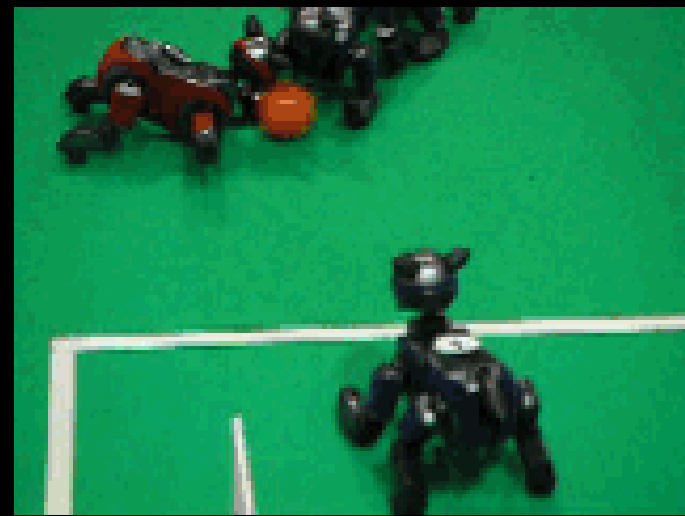
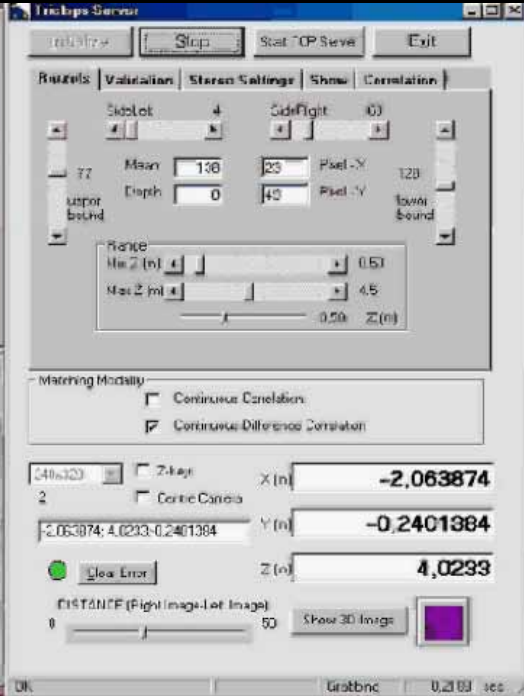
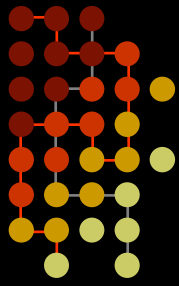


Manipolatori Robotici

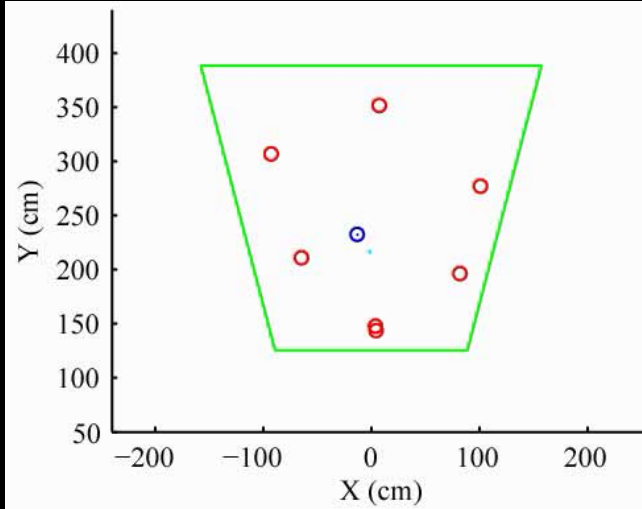


- Determinismo
- Bassa complessità

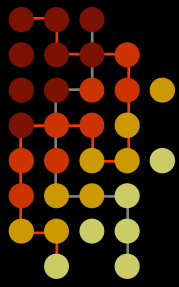
Robotica Mobile



- Incertezza
- Contraddizione
- Elevata complessità



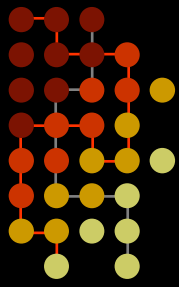
Sistemi sensoriali complessi



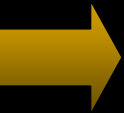
- Come si approccia la complessità di un sistema sensoriale?
- Come è possibile estrarre informazioni aggregate quando i dati sono disomogenei tra di loro?
- Come si estraggono i significati?



La realtà come fenomeno o esperienza?

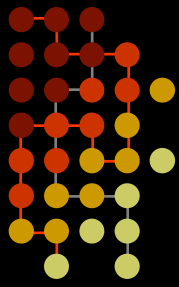


- Approccio **fenomenologico**
 - La realtà esiste oggettiva e può essere compresa dall'uomo attraverso la percezione, l'interpretazione e l'attribuzione di significato
- Approccio **cognitivista**
 - La realtà oggettiva non esiste in quanto tale, ma è data dall'esistenza e dal comportamento del sistema cognitivo stesso
 - La realtà viene considerata inseparabile dalla struttura e dall'esperienza del sistema cognitivo



Autopoiesi e Cognizione

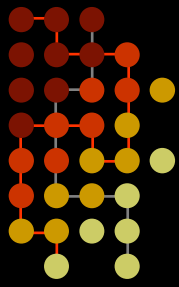
H.R. Maturana, F.J. Varela



- **L'organizzazione del vivente è circolare** ed assicura la produzione e mantenimento dei suoi componenti i quali la specificano e hanno come prodotto l'organizzazione stessa
- **L'organizzazione è autoreferente:** il dominio di interazione è chiuso ed è il suo dominio cognitivo. Nessuna interazione è possibile al di fuori di quanto prescritto dall'organizzazione.
- **Il processo di cognizione** consiste nella creazione di un campo di comportamento nel dominio chiuso di interazione e non nell'apprendimento o nella descrizione di un universo indipendente



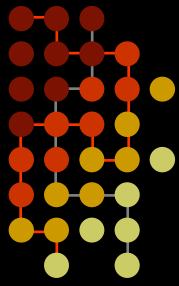
Costruzione del significato



- La conoscenza, in primo luogo quella umana, deriva da rappresentazioni mentali
- Costruzione sociale del significato attraverso i miti, i simboli, le storie e i rituali
- Ruolo del linguaggio per veicolare, elaborare e creare significati

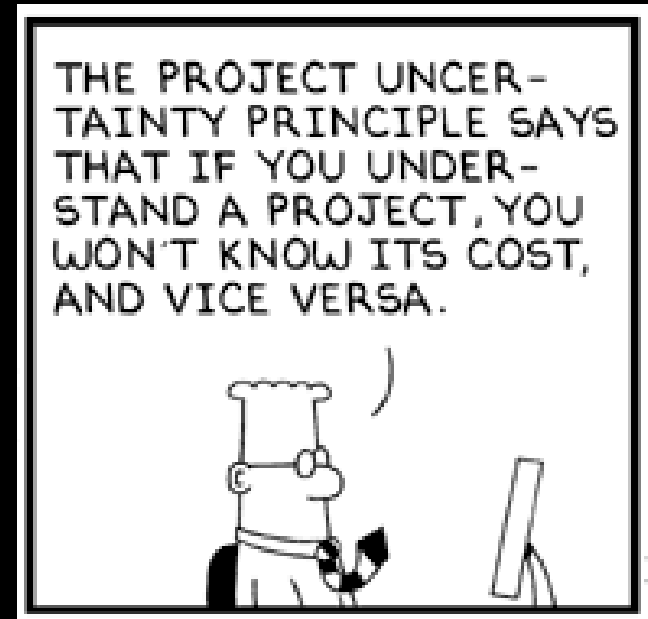


Incertezza come paradigma del reale

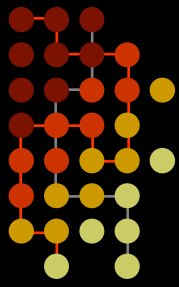


- Meccanica classica (Newton 1600 – Laplace 1700)
- Termodinamica (Fourier - Carnot)
- Relatività Generale (1917)
- Meccanica quantistica (1926)
- Strutture dissipative (Prigogine)
- Teoria del Caos

- Finché le leggi della matematica si riferiscono alla realtà non sono certe, quando sono certe non si riferiscono alla realtà (A. Einstein)



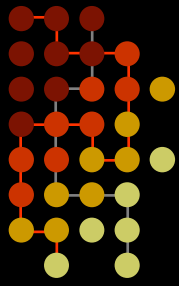
L'incertezza non è sempre casualità



- Sorgenti di incertezza non casuali:
 - Calibrazione dei sensori
 - Possibilità di guasti
 - Scarsa conoscenza dell'interazione sensore ambiente
 - Interazioni nascoste stato/misure
 - Scarsa modellazione del sistema
- In questi casi la media non funziona ed in generale tutti i risultati associati alla statistica



Non esiste una sola verità



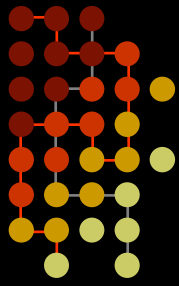
- Uso della strumentazione
 - I dati sono insufficienti
 - I dati di un sensore sono affetti da errori
 - I sensori non sono omogenei
 - Esiste della contraddizione

Coordinated exploration with three robots
from unknown start locations

The robots are fully autonomous.
All computation is performed on-board.

Shown is the perspective of one robot

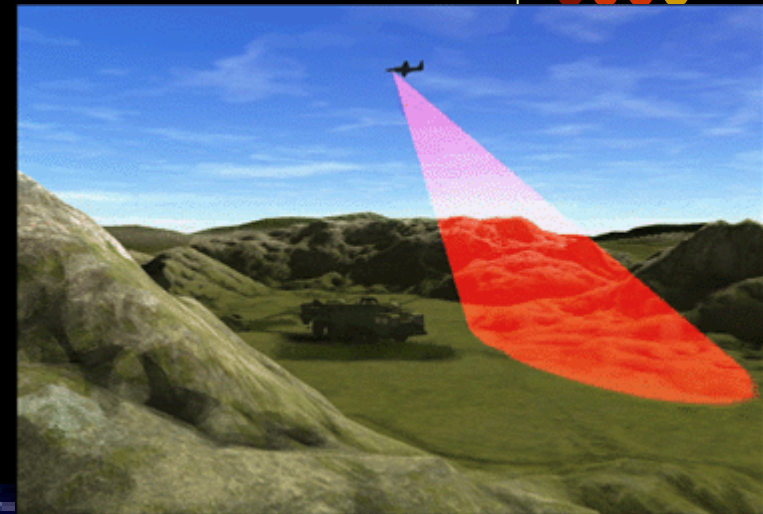
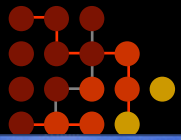
Fusione Sensoriale



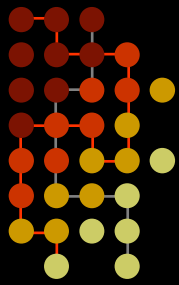
- Aggregazione di dati provenienti da più fonti per la creazione di nuovi significati
 - Confronto con un modello del mondo
 - Attribuzione della semantica tramite analisi di contesto
 - Utilizzo di logiche non Bayesiane



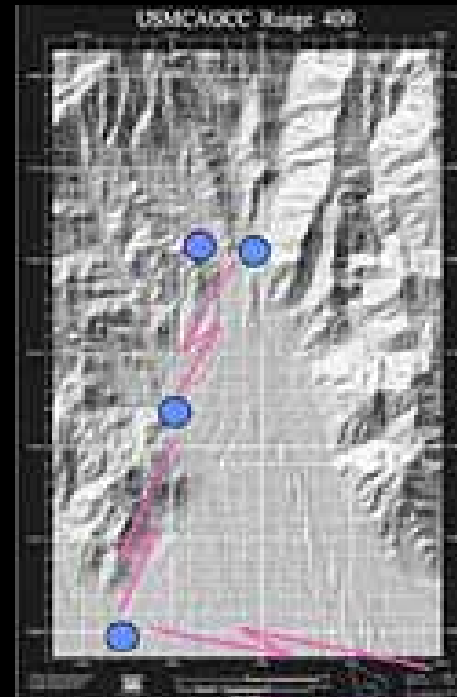
Data Fusion



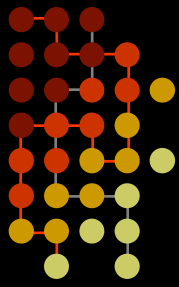
Applicazioni militari di Data Fusion



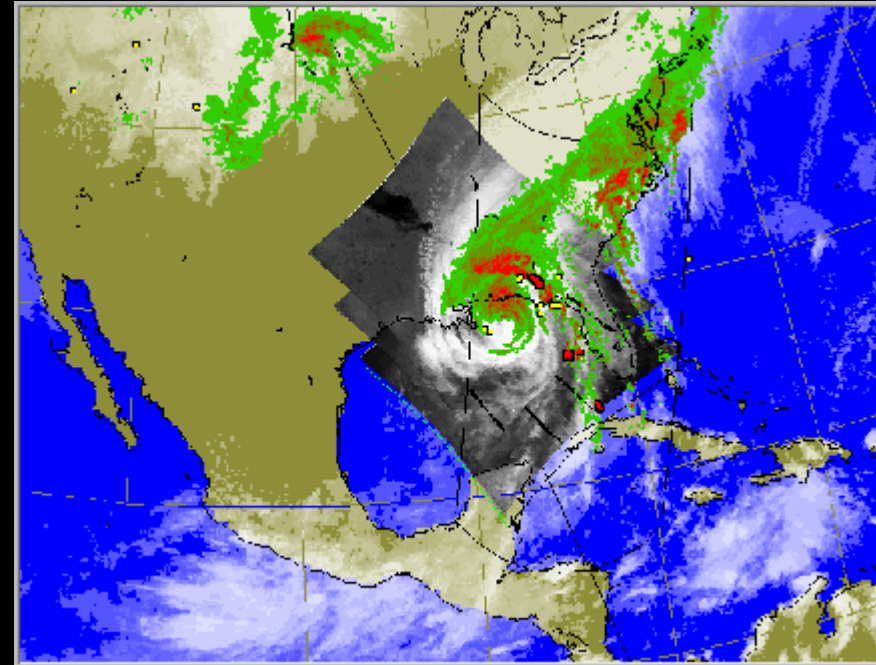
- **Sorveglianza marittima**
 - rivelazione inseguimento e identificazione di eventi ed oggetti
- **Difesa Aria-Aria e Superficie-Aria**
 - ... di aerei
- **Intelligence: sorveglianza ed individuazione di bersagli sul campo di battaglia**
 - ... di bersagli terrestri
- **Allerta e difesa strategica**
 - Rivelazione di indizi su imminenti azioni strategiche; rivelazione di missili balistici
- **Imposizione della legge: traffico di droga**
 - Localizzazione di spedizioni di droga



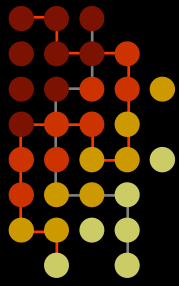
Applicazioni civili di Data Fusion



- **Manutenzione**
 - Individuazione di guasti
- **Robotica**
 - Localizzazione, riconoscimento
- **Diagnosi mediche**
 - Localizzazione e identificazione di anomalie
- **Monitoraggio ambientale**
 - Identificazione e localizzazione di fenomeni naturali
- **Interfacce uomo-macchina complesse**
 - Rilevazione postura, reazione di forza

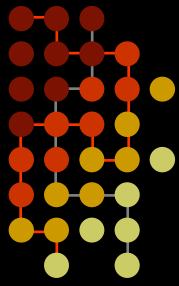


Data Base Management System



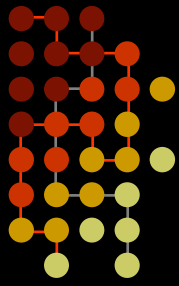
- Un sistema di datafusion deve maneggiare grandi quantità di dati
 - Testo
 - Tabelle (descrizione della strumentazione, modelli di comportamento)
 - Elenchi (rilevazioni degli strumenti)
 - Modelli entità-relazione
 - Immagini (carte topografiche)
 - Modelli 3D
 - Basi di conoscenza (regole di fusione, regole di comportamento, casi noti)
 - Oggetti (ipotesi di aggregazione)

RDBMS (Relational)



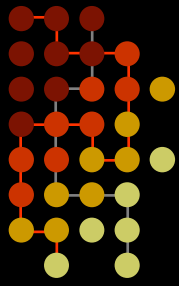
- Questi database consentono una organizzazione relazionale delle informazioni ma non consentono ricerche che mettano in evidenza dipendenze su più dimensioni
- Le informazioni spaziali 2D o 3D sono difficilmente aggregabili con una query singola

GIS (Geographic Information Systems)



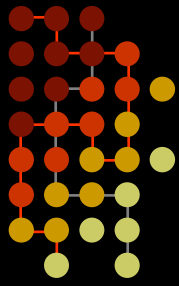
- Questi sono specializzati nel rappresentare informazioni spaziali
- Esistono dei prodotti che combinano anche le funzionalità dei RDBMS

OODBMS (Object Oriented)



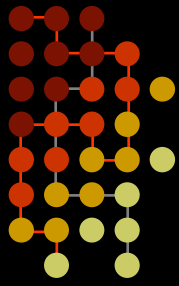
- Usano un approccio orientato agli oggetti per rappresentare le informazioni e sono capaci di aggregare in questi
 - I dati
 - La base di conoscenza
 - Le procedure

Organizzazione gerarchica



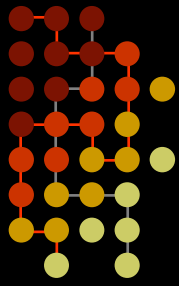
- Per consentire una aggregazione di rilevazioni posizionali (x,y,z,t) e poter aggiungere una nuova rilevazione a quelle già aggregate senza dover riconsiderare tutta la tabella delle rilevazioni è possibile lavorare su oggetti che vengono ipotizzati sulla base di modelli di comportamento
- Ad esempio si possono aggregare delle rilevazioni in base a delle ipotesi di mobilità sul tipo di target
 - Fisso
 - Mobilità stradale
 - Mobilità su terreno accidentato
 - Mobilità sull'acqua
 - Mobilità in aria

Classi di ragionamento



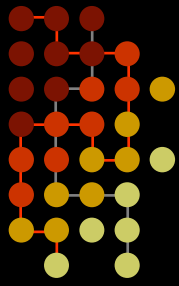
- La struttura gerarchica del database può dipendere dalla modalità di aggregazione
 - **Spaziale**
 - Target caratterizzati da funzioni continue nello spazio e nel tempo
 - Prevedono la memorizzazione di elementi spaziali (traiettorie)
 - **Semantica**
 - Target caratterizzati da particolari features

Gestione delle decomposizioni spaziali



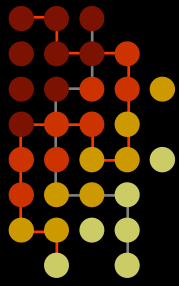
- Memorizzazione esplicita
 - (Immagini in format raster)
- Mem. Implicita
 - Rappresentazioni vettoriali
- Con features composite
 - Immagine che conserva le features di ogni cella
- Con features specifiche
 - Elenco di features che rimandano a dei punti sull'immagine
- Areale o non Areale
 - Tutte le caratteristiche di una regione o solo il bordo
- Regolare o non regolare
 - Celle uguali (o almeno con la stessa metrica) o di dimensione differenti (R-three)
- 2D o non 2D
 - Si conserva la metrica Euclidea o meno

Esempio: struttura piramidale



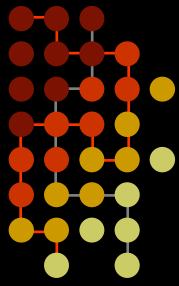
- Dinamica, espandibile, aggiornabile, supporta ricerche spaziali
 - Regolare (celle uguali)
 - Areale (con informazioni su tutta la cella)
 - 2D (si conservano le distanze)
 - Esplicita (immagini raster)
 - Gerarchica
 - Con features composite (elencate in ogni cella)
 - A bassa risoluzione

Esempio: struttura ad alta risoluzione



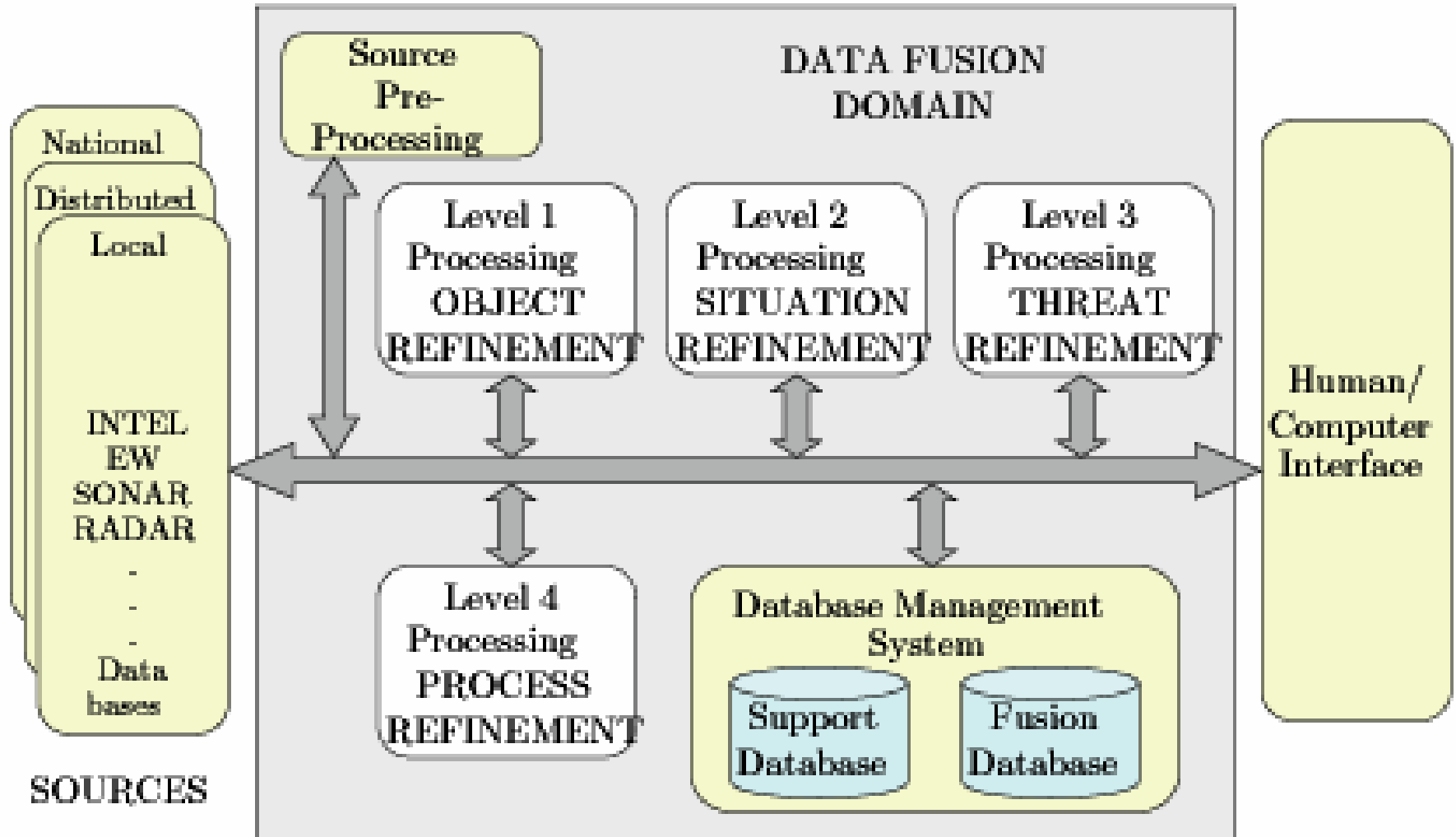
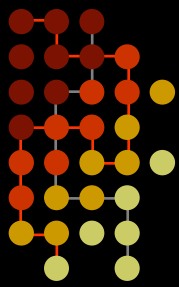
- Memorizzazione di precisione ma con poca dinamicità
 - Non regolare (celle differenti)
 - Non areale (solo i bordi)
 - Non 2D (metriche variabili o assenti)
 - Implicita (rappresentazione vettoriale)
 - Non gerarchica (elenco di elementi)
 - Con features specifiche (elenco di features)

Esempio: rappresentazione ibrida

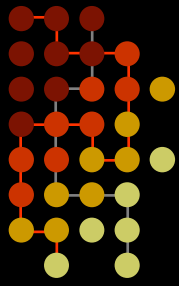


- Si spazia dalla bassa all'alta risoluzione con possibilità di rappresentare gerarchicamente oggetti aggregati sia semanticamente, sia spazialmente
 - Regolare (quad-three)
 - Areale (tutta la cella)
 - 2D (con metrica)
 - Esplicita (immagini raster a differenti risoluzioni)
 - Gerarchica (decomposizione spaziale)
 - Features specifiche (rappresentate vettorialmente)

Data Fusion: Modello Funzionale JDL

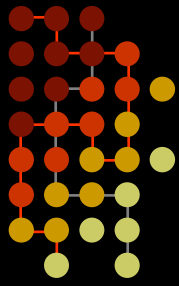


Caratteristiche dei sensori



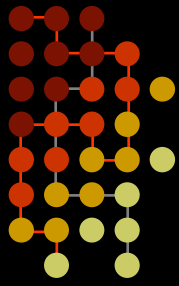
- Prestazioni di rilevazione
 - Capacità di rilevare un segnale utile
 - Falsi positivi e negativi
- Risoluzione spaziale e temporale
- Copertura spaziale
 - 2D o 3D
- Modalità di rilevazione e di inseguimento
 - Inseguimento o scanning
- Frequenza di osservazione

Caratteristiche dei sensori (2)



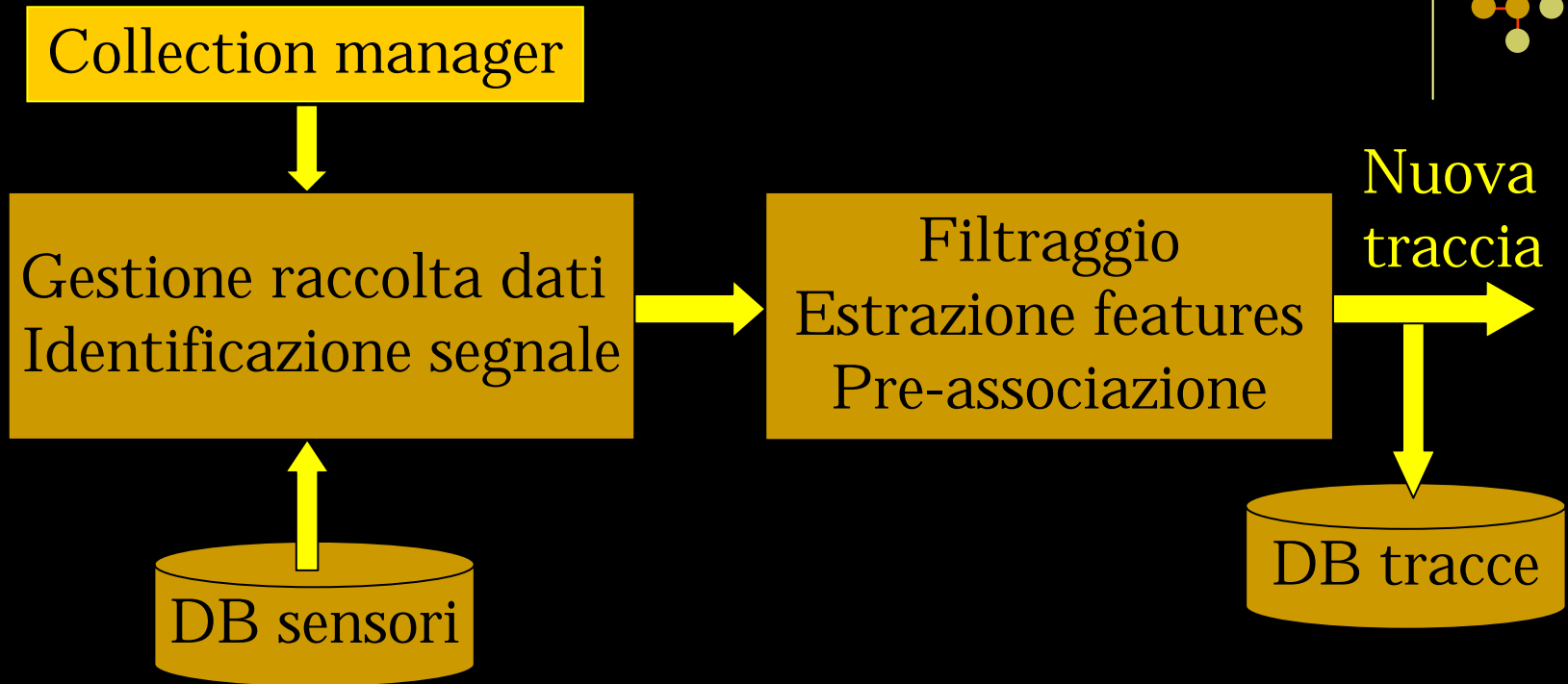
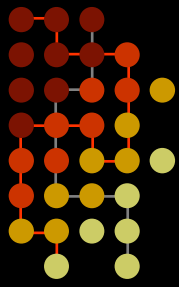
- Accuratezza di misura
 - Caratterizzazione statistica
- Dimensionalità della misura
 - Numero di grandezze rilevate
- Tipo di report dei dati
 - Con o senza indicazione di attendibilità (hard o soft reporting)
- Report storico o istantaneo

Livello 0 *Source Preprocessing*



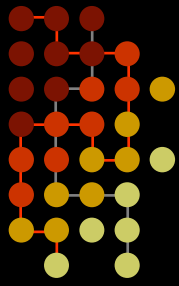
- **Identificazione della traccia**
 - percezione sensoriale
- **Gestione raccolta dati**
 - un collection manager imposta parametri ed attività dei sensori
- **Filtraggio preliminare**
 - Eliminazione rumore, interferenze
- **Associazione**
 - processamento del segnale e feature extraction (anche più di una legate ad un indice probabilistico)
- **Sub-object assessment**
 - Modello di predizione delle rilevazioni per poter giudicare la bontà delle stesse ed eventuali outlier

Pre-processing



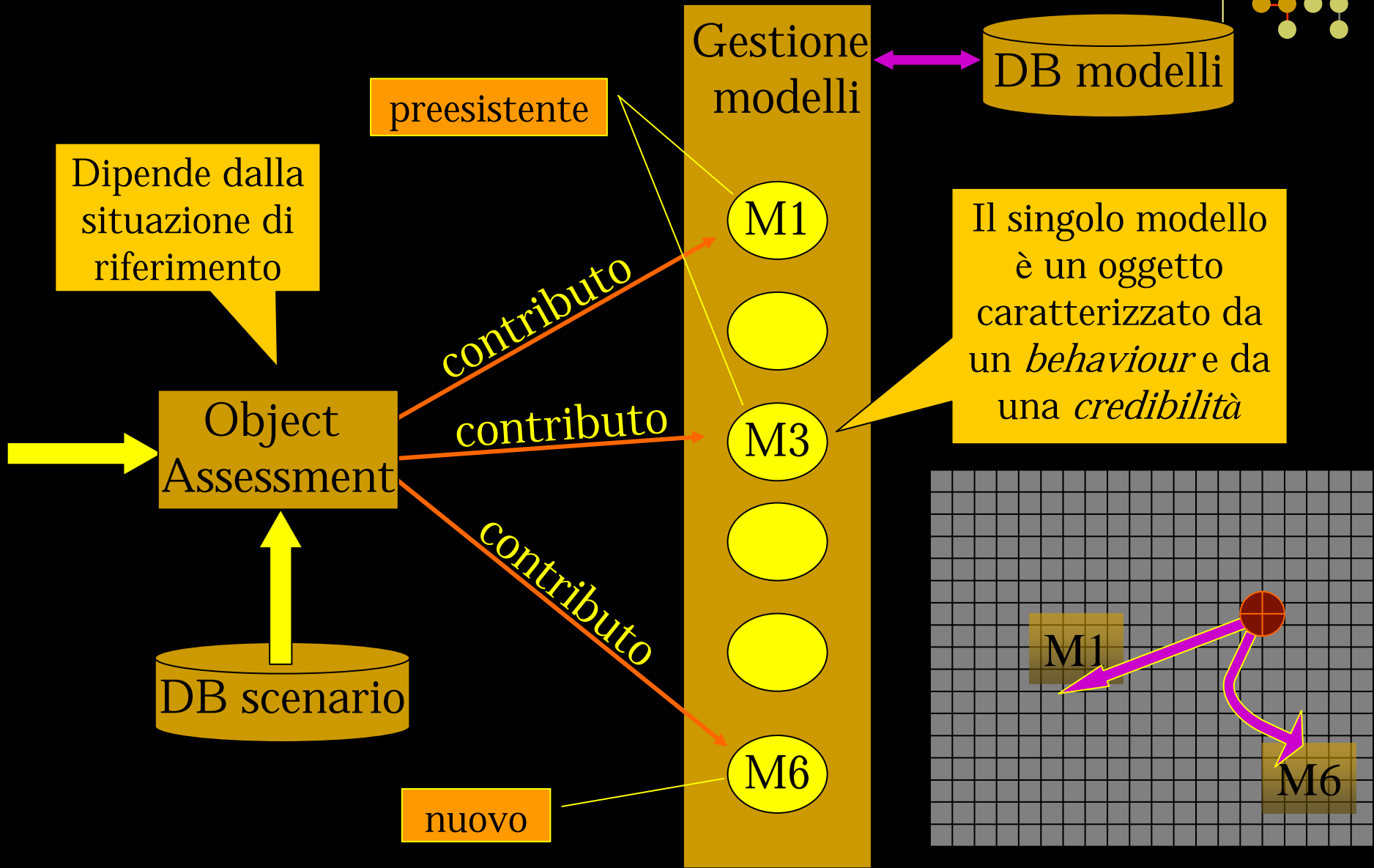
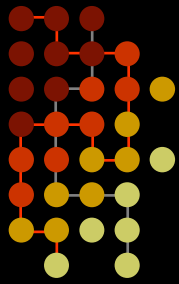
- La nuova traccia deve subire a questo punto un'associazione ad uno o più modelli di comportamento che rappresentano delle ipotesi da portare avanti in parallelo
 - Supporto a un/dei modello/i esistente/i
 - Nuovo/i modello/i
- Valutazione con banchi di regole (fuzzy, neurale)

Livello 1 *Object Refinement*

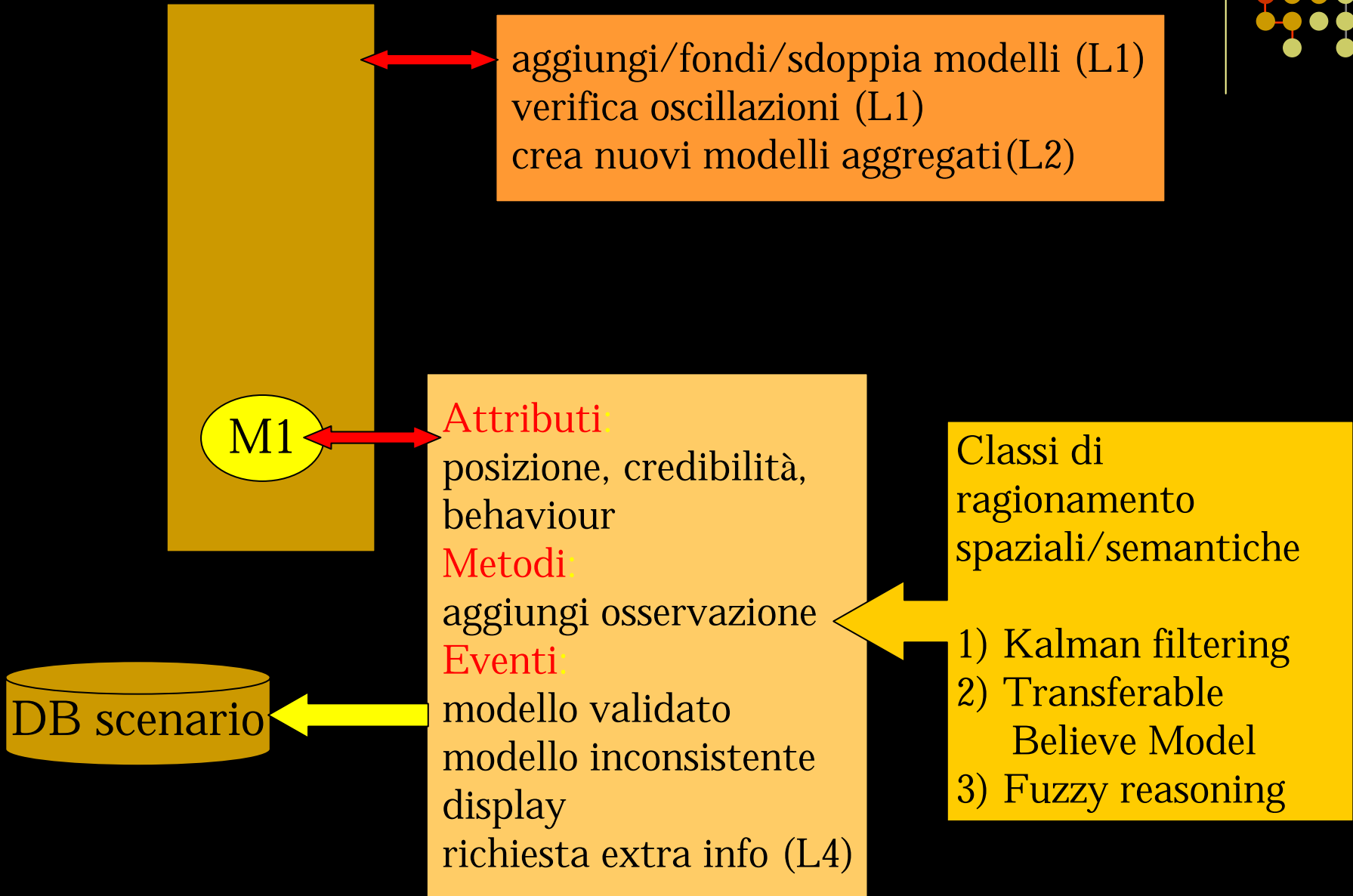
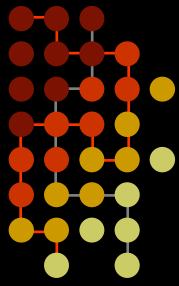


- **Data alignment**
 - Allineamento temporale dei dati provenienti dai vari sensori
- **Gating**
 - Eliminazione delle osservazioni con bassa affidabilità
- **Associazione**
 - Aggregazione delle tracce e classificazione degli oggetti creati, possibili multi-ipotesi
- **Object Assessment**
 - Valutazione degli oggetti in base alla loro credibilità: eliminazione di oggetti poco credibili o creazione di nuovi oggetti
 - Identity fusion (identificazione con features specifiche)
 - Positional fusion (identificazione spaziale)
 - Behaviour modeling (identificazione comportamentale)

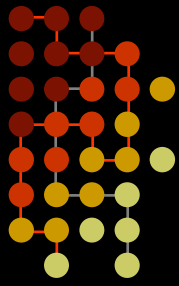
Modelli di Behaviour



Modellazione ad oggetti

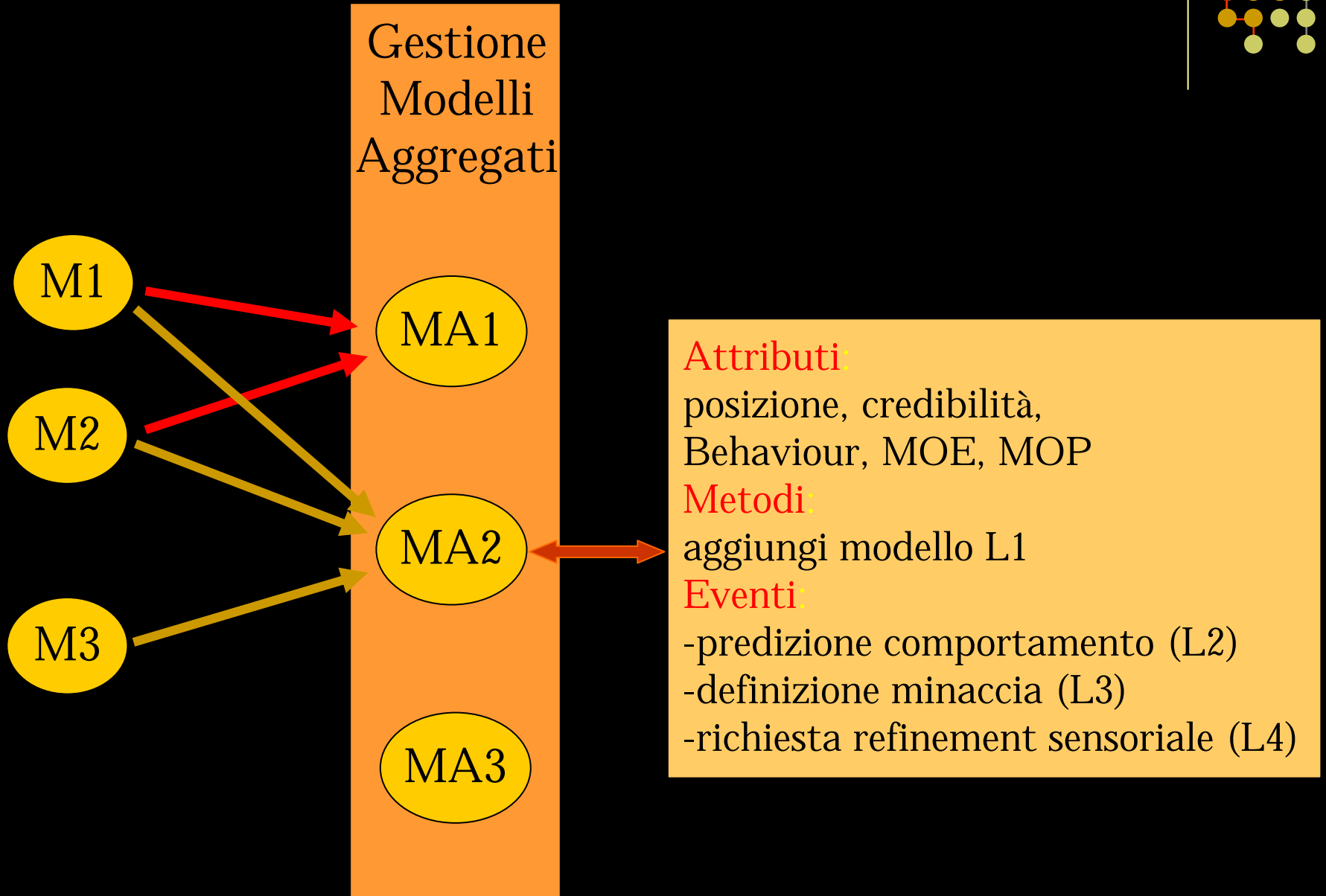
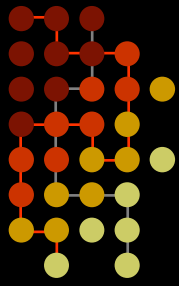


Livello 2 *Situation Refinement*

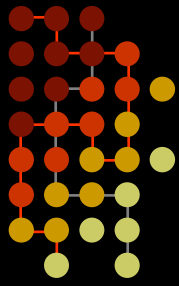


- **Identificazione della traccia**
 - percezione sensoriale
- **Gestione raccolta dati**
 - un collection manager imposta parametri ed attività dei sensori
- **Filtraggio preliminare**
 - Eliminazione rumore, interferenze
- **Associazione**
 - processamento del segnale e feature extraction (anche più di una legate ad un indice probabilistico)
- **Sub-object assessment**
 - Modello di predizione delle rilevazioni per poter giudicare la bontà delle stesse ed eventuali outlier

Gestione modelli aggregati

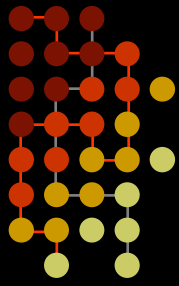


Livello 3 *Threat/Impact Refinement*



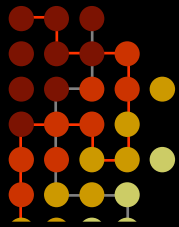
- **Stima dell'impatto**
 - Misure di verosimiglianza
 - Stima del rapporto costi/benefici
- **Giudizio sul "significato" delle situazioni**
 - Opportunità
 - minacce

Livello 4 *Process Refinement*



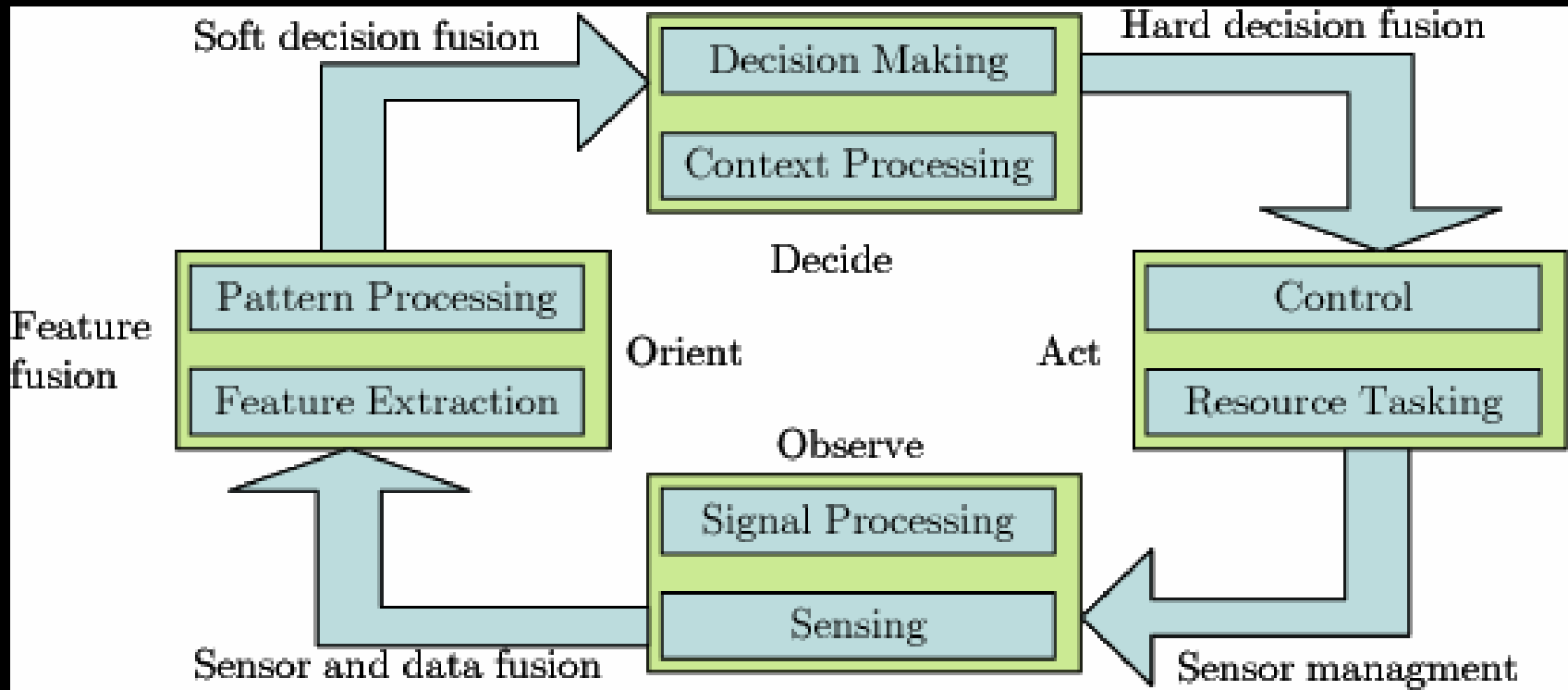
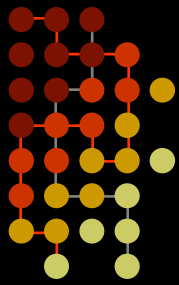
- Pianificazione e controllo
- Associazione tra risorse e task
- Valutazione delle prestazioni del sistema
 - MOP (Measure Of Performance)
 - MOE (Measure of effectiveness)

Modello di Dasarathy

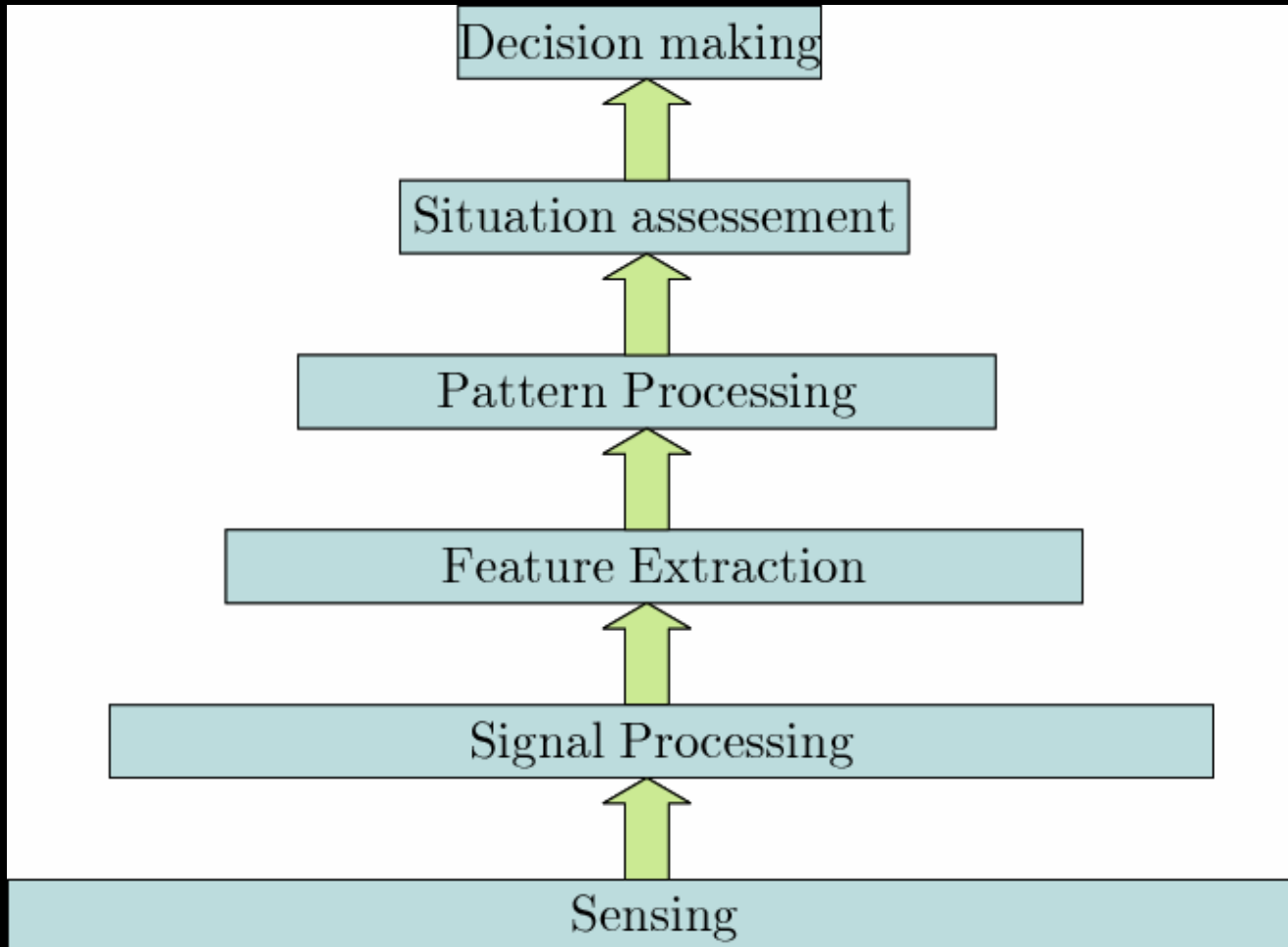
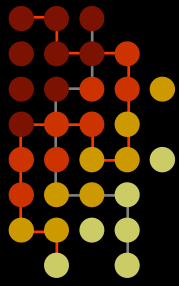


OUTPUT				
		Data	Features	Objects
I N P U T	Data	Signal Detection (DAI-DAO)	Feature Extraction (DAI-FEO)	Object Characterization (DAI-DEI)
	Features	Model based detection/ Feature extraction (FEI-DAO)	Feature refinement (FEI-FEO)	Feature based object characterization (FEI-DEO)
	Objects	Model Based detection/estimation (DEI-DAO)	Model based feature extraction (DEI-FEO)	Object refinement (DEI-DEO)

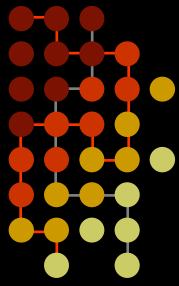
Modello di Boyd



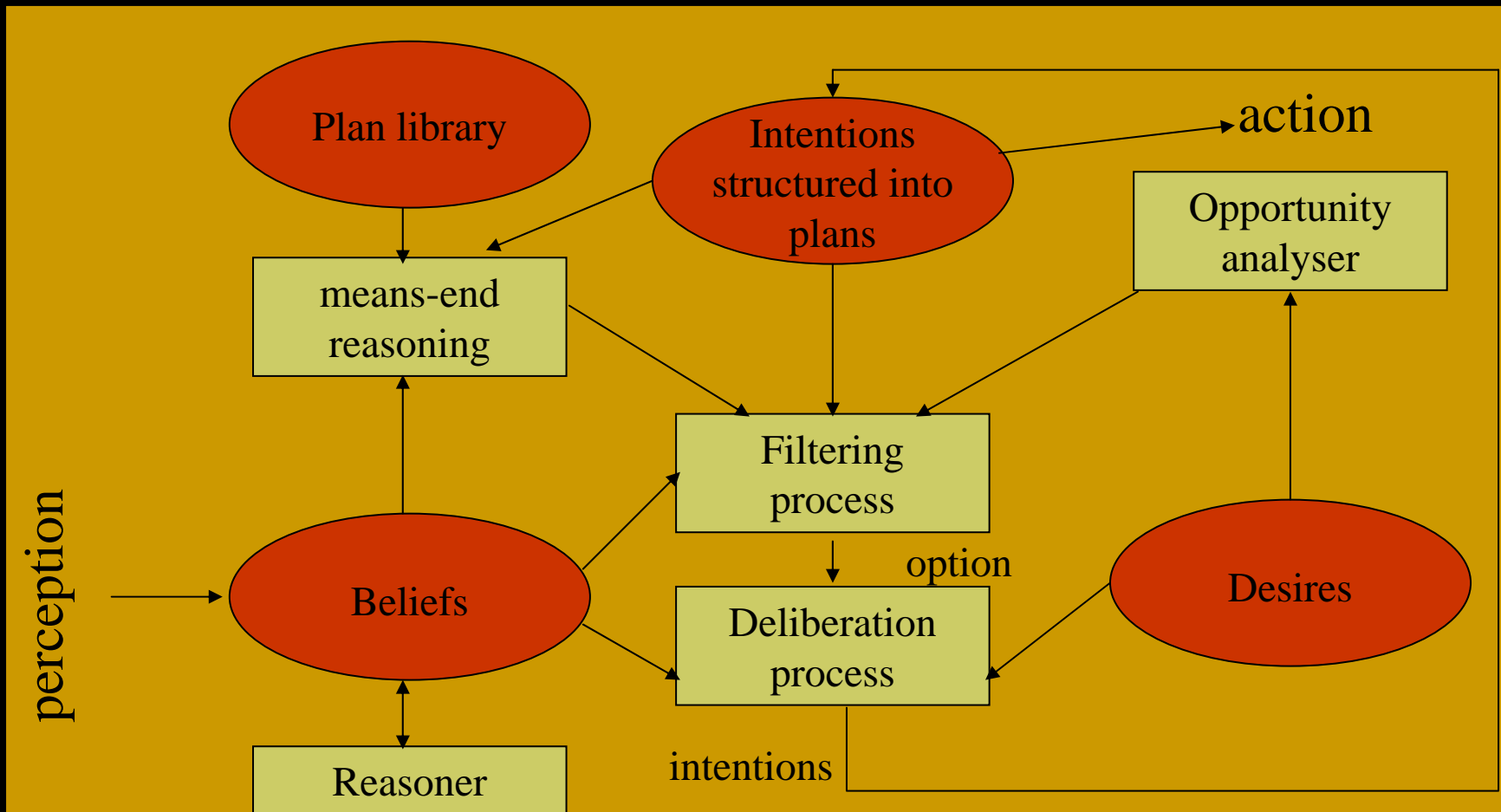
Modello Waterfall



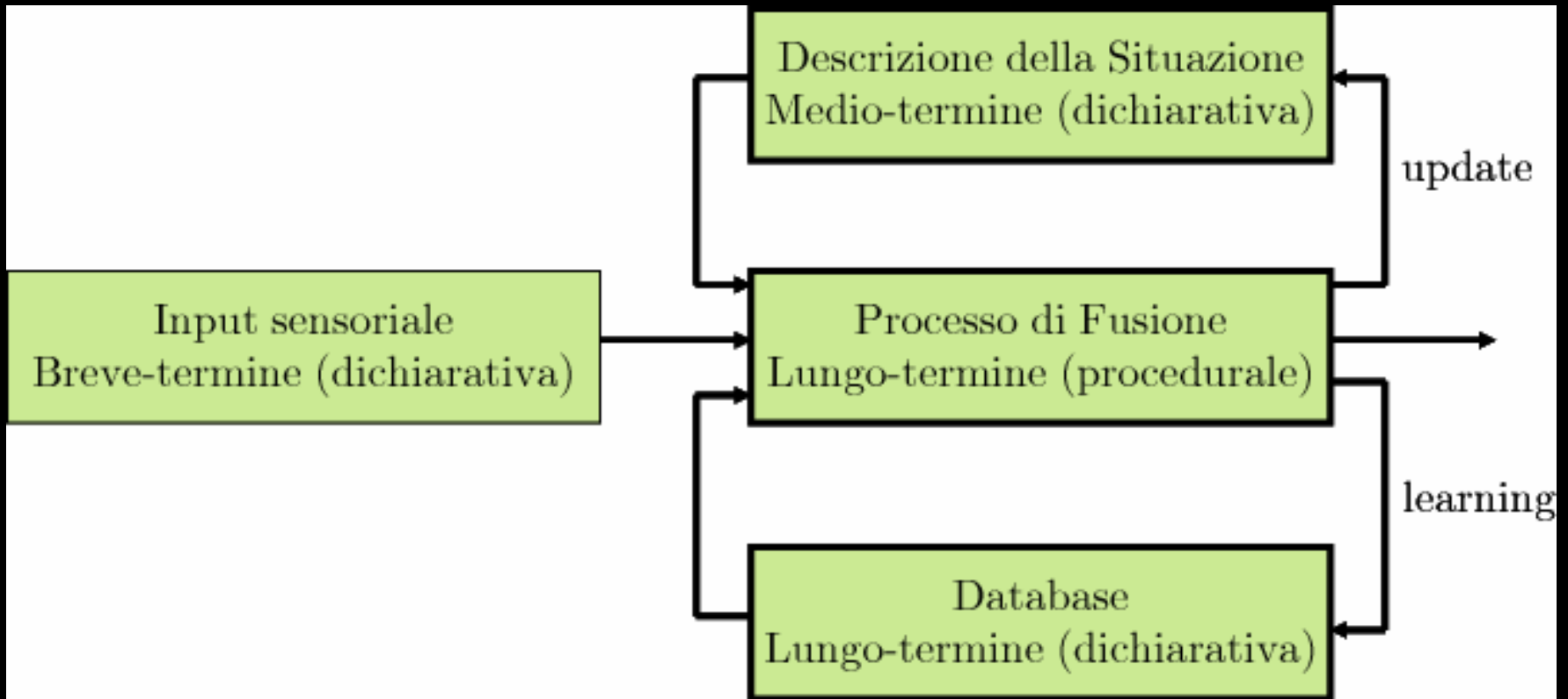
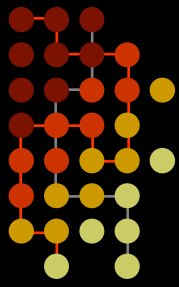
Architettura BDI (Beliefs Desires Intections)



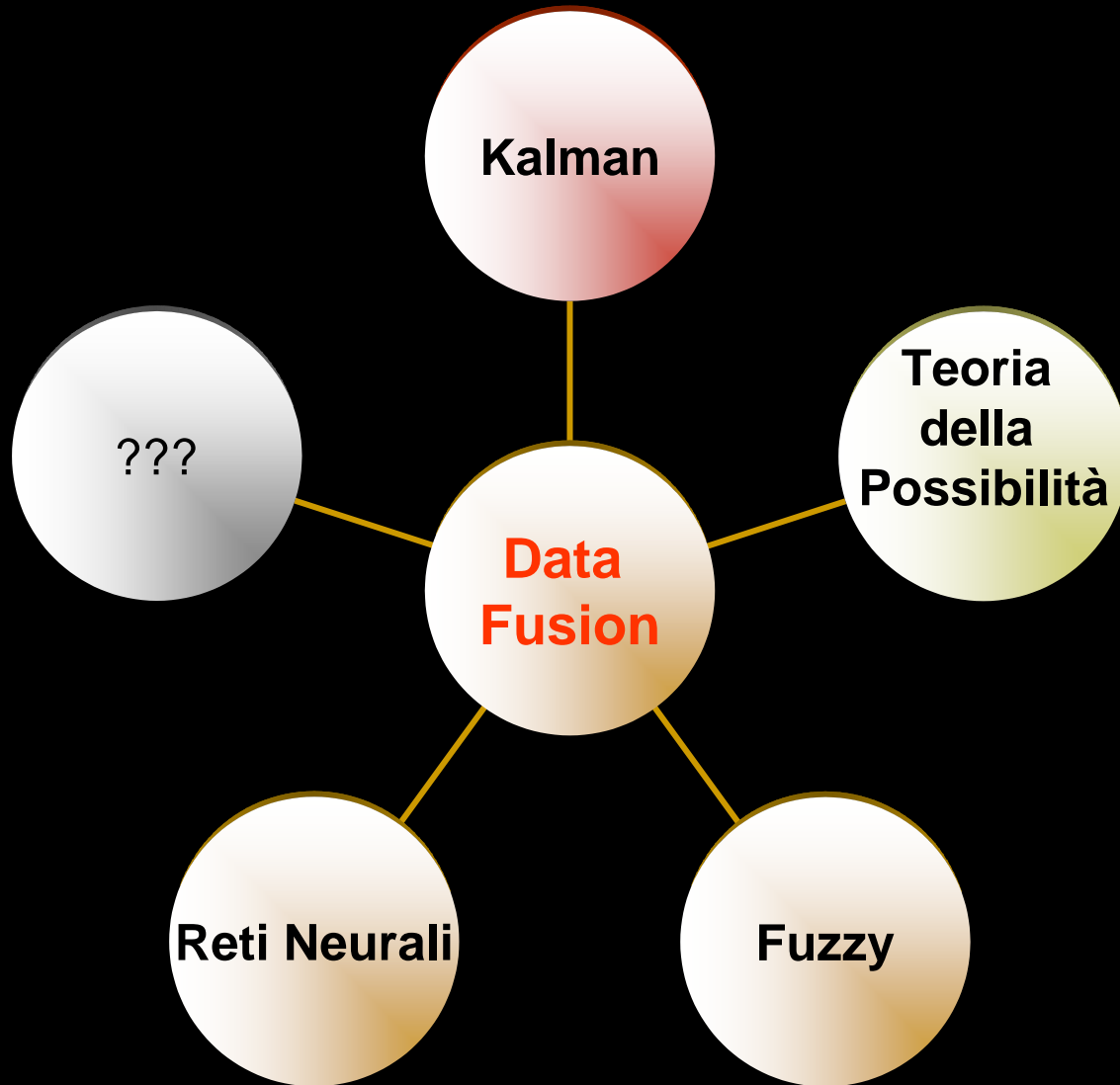
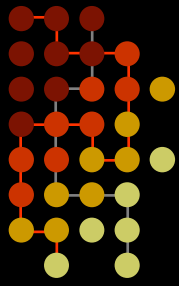
- Intervenire sull'ambiente per modificarlo con vincoli di tempo



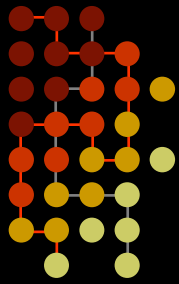
Memoria a breve/lungo termine



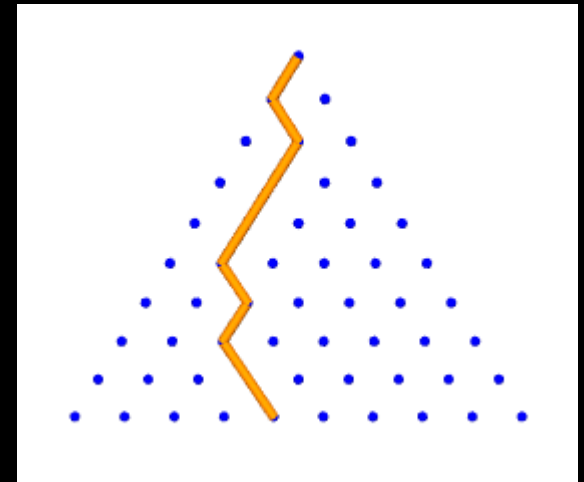
Metodologie



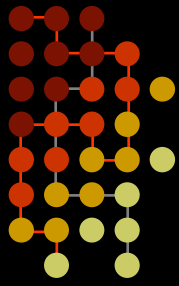
Approcci tradizionali alla fusione delle informazioni



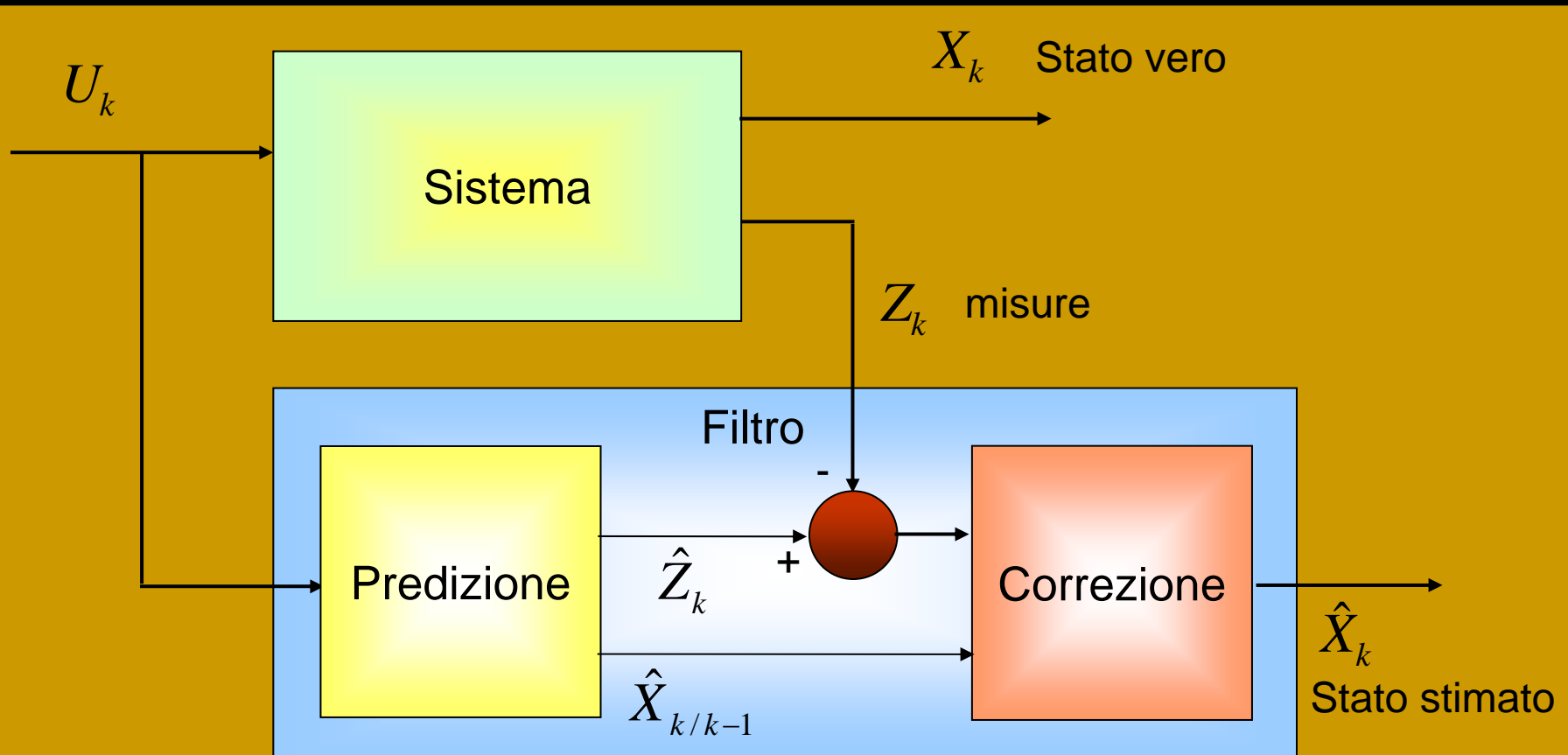
- In statistica termini “aleatorio”, “casuale”, “stocastico” sono aggettivi che si associano agli enti ottenuti come risultati di una prova
- Teoria della probabilità o Bayesiana (medie, varianze, distribuzioni)
- Stima con algoritmi di predizione e correzione: **Filtro di Kalman**



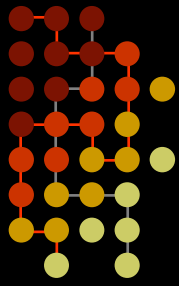
Approccio Bayesiano alla stima



- Il filtro a predizione/correzione di Kalman

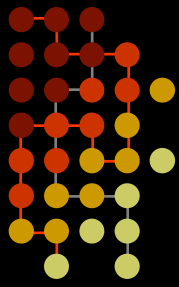


Altri filtri di Kalman

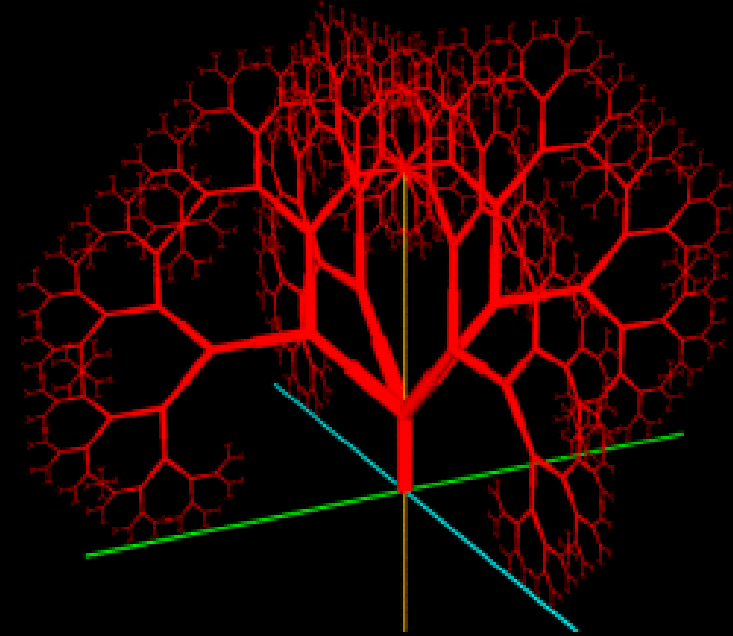


- **KF**
 - lineare
- **EKF**
 - Filtro di Kalman esteso: usa la linearizzazione del sistema per propagare la distribuzione gaussiana della stima dello stato
- **Unscented Kalman filter (UKF)**
 - Migliora la propagazione usando una approssimazione del 3° ordine del sistema lineare
- **IEKF**
 - Filtro di Kalman interlacciato: non aggiorna tutto lo stato (adatto per SLAM)
- **Particle filters**
 - Discretizza la densità di probabilità continua con misure di probabilità discrete

Logiche sfumate per la manipolazione della complessità

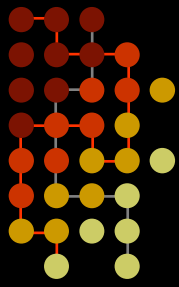


- Logica fuzzy come estensione della teoria degli insiemi
- Teoria della possibilità come estensione della teoria della probabilità



“Qualitative is nothing but poor quantitative”
Lord Rutherford

Insiemi Crisp



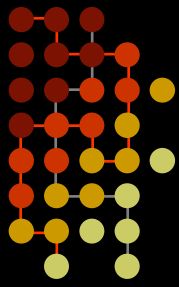
- Un elemento x dell'insieme universale U può appartenere o meno ad un insieme A
- Un insieme A è definito dalla sua funzione caratteristica:

$$\mu_A: U \rightarrow \{0, 1\} \quad (\text{solo due valori})$$

$$\mu_A(x) = A(x) = \begin{cases} 1 & \text{iff } x \in A \\ 0 & \text{iff } x \notin A \end{cases}$$

(due possibili notazioni)

Estensione immediata

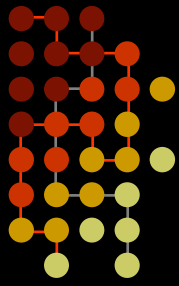


- Un **insieme fuzzy** è un'estensione secondo la quale la funzione caratteristica di un insieme è continua

$$\mu_A: U \rightarrow [0, 1] \quad (\text{tutti i valori tra 0 e 1})$$

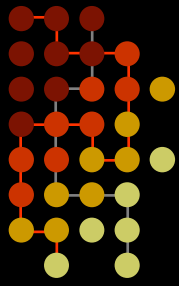
- Il significato è quello di **graduare**, sfumare l'appartenenza
- Quanto vale per gli insiemi, vale per le **proposizioni**, quindi si può sfumare anche il grado di verità (credito) di un'affermazione.

Interpretazioni di $A \rightarrow B$



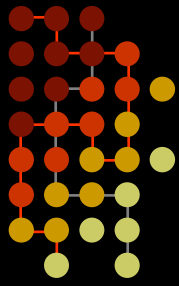
- Continuiamo l'esempio
 - Velocità alta \rightarrow frena
 - Velocità molto alta \rightarrow frena molto ? sì/no
 - Velocità non alta \rightarrow non frenare ? sì/no
- Basandoci sulla logica: NO, non sappiamo cosa fare, ci vogliono altre regole
- Il “modus ponens generalizzato” (GMP) ammette le estensioni di cui sopra ed è molto usato
 - Consente di ridurre il numero di regole
 - È (sembra) più aderente al ragionamento quotidiano
 - È molto meno ben posto matematicamente

Assiomatizzazione della Teoria della Possibilità



- Assiomi \implies Costruzione di una teoria matematica
 \implies Migliore comprensione delle operazioni
- Assiomi \implies Maggiore distanza dalle condizioni sperimentali
- L'assiomatizzazione della teoria della possibilità
 - si basa sulle **misure fuzzy**
 - porta ai fuzzy sets come **distribuzioni di possibilità**
 - comprende come caso particolare la **probabilità**

Misure Fuzzy



Una funzione $g: \mathcal{P}(\Omega) \rightarrow [0,1]$ è una **misura fuzzy** (FM) se:

Condizioni al contorno: $g(\emptyset) = 0$ $g(\Omega) = 1$

Ω , non U !

Monotonicità $\forall A, B \in \mathcal{P}(\Omega), A \subseteq B \Rightarrow g(A) \leq g(B)$

$$g(A \cup B) \geq \max[g(A), g(B)]$$

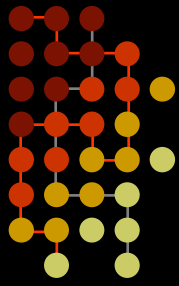
$$g(A \cap B) \leq \min[g(A), g(B)]$$

n.b. “+” > “max”
“*” < “min”

Continuità (si applica se Ω ha infiniti elementi, molto tecnica)

Warnings: gli insiemi sono crisp
stiamo completamente abbandonando l’idea di frequenza
ovvero di probabilità a posteriori.

Teoria di Dempster-Shafer



- Torniamo all'insieme Ω della conoscenza disponibile. Ad ogni elemento ω di $P(\Omega)$ associamo un grado di credibilità "Basic Mass/Probability Assignment": $0 \leq m(\omega) \leq 1$.

$$\sum_{\omega \in P(\Omega)} m(\omega) = 1$$

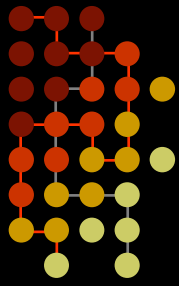
- A partire da $m(\omega)$ si definisce una coppia Bel, Pl su Ω (Shafer, 76)

$$Bel(A) = \sum_{\omega \subseteq A} m(\omega); \quad Pl(A) = \sum_{\omega: \omega \cap A \neq \emptyset} p(\omega)$$

- e si dimostra che: $Bel(A) \leq Prob(A) \leq Pl(A) !!!$
- La stessa teoria fornisce il modo di combinare la "evidenza" fornita da diverse sorgenti (testimoni, sensori, ecc.).
Se abbiamo due testimonianze sulle possibilità di un evento su Ω , si ha

$$m_{1,2}(A) = \frac{\sum_{B \cap C = A} m_1(B) \cdot m_2(C)}{1 - K}; \quad K = \sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B) \cdot m_2(C)$$

Confronti



- Dato un numero tra 0 e 1, quali sono le possibili interpretazioni? Facciamo un esperimento concettuale.
- Domanda: c'è un panino col salame in frigo?
Risposta: 0.5
- Se la interpretiamo come **misura**, significa che c'è mezzo panino.
- Se la interpretiamo come **probabilità**, significa “forse”, ripetendo la domanda all'infinito, troveremmo il panino la metà delle volte.
- Se la interpretiamo come **fuzzy**, significa che c'è qualcosa, magari pane e salame separati o un panino al prosciutto.
- Se la interpretiamo nella **teoria della possibilità** può significare che le evidenze che sostengono l'ipotesi del panino al salame siano solo una metà

