

# Introduzione al Soft Computing

## Fuzzy Logic



[www.intellisystem.it](http://www.intellisystem.it)

## Indice della presentazione



Introduzione al Soft Computing

La fuzzy Logic

Le reti neurali

Gli algoritmi genetici

L'integrazione

Esempi

# Cos'è il Soft Computing?

"insieme di metodologie di calcolo" Zadeh(1992)

sinergia completa tra:

la fuzzy logic  
le reti neurali  
gli algoritmi genetici

Oggi più che mai l'informazione deve essere resa "intelligente"  
allo scopo di poter risolvere i problemi che nascono  
dalla crescente complessità e varietà dei prodotti che ci circondano



# *Aree principali di applicazione*

*Identificazione Controllo dei sistemi*

*Analisi dei segnali*

*Pattern recognition*

*Image Processing*

*Estrazione base della conoscenza*



## **Il Soft Computing utilizza al meglio le proprietà delle tre discipline**

- La possibilità di modellizzare e controllare sistemi complessi ed incerti della Fuzzy Logic.
- ▲ La capacità di “apprendere” da esempi delle reti neurali.
- La capacità di ottimizzazione degli algoritmi genetici.



# La Fuzzy Logic

- *1965 - L. Zadeh propone i “fuzzy sets”*
- *inizio anni ‘70 - Studio delle proprietà matematiche dei “fuzzy sets” e della “logica fuzzy”*
- *1975 - Viene proposto un sistema di controllo fuzzy (Mamdani e Assilan”)*
- *1985 - In Giappone (Sendai) viene realizzata una metropolitana in cui la fuzzy logic ha un ruolo di rilievo*

**Sistemi Fuzzy**



Sebbene molto controverso, la fuzzy logic è stato e continua ad essere un campo di ricerca veramente entusiasmante. Un impulso determinante a questa attività è stato certamente dovuto alle numerose applicazioni del controllo fuzzy che sono emerse in un largo spettro di aree ed al fatto che numerosi prodotti HW e SW sono stati posti in commercio.

# “Fuzzy Sets” Information and Control, 8, 1965

1965 Lotfi Zadeh



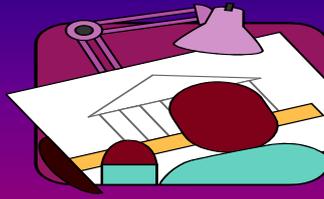
“Una delle ragioni per cui gli esseri umani hanno capacità di controllo migliori di quelle delle macchine attuali è che gli esseri umani sono in grado di prendere decisioni sulla base di informazioni linguistiche imprecise”

## Inizio anni '70 - La teoria fuzzy comincia a dare i primi frutti...



- *Studio delle proprietà matematiche degli insiemi fuzzy e delle nozioni ad essi correlate*
- *Esplorazioni di numerose varianti della logica fuzzy*

## *Fine anni '70 - L'interesse crescere ma lavori ancora teorici ...*

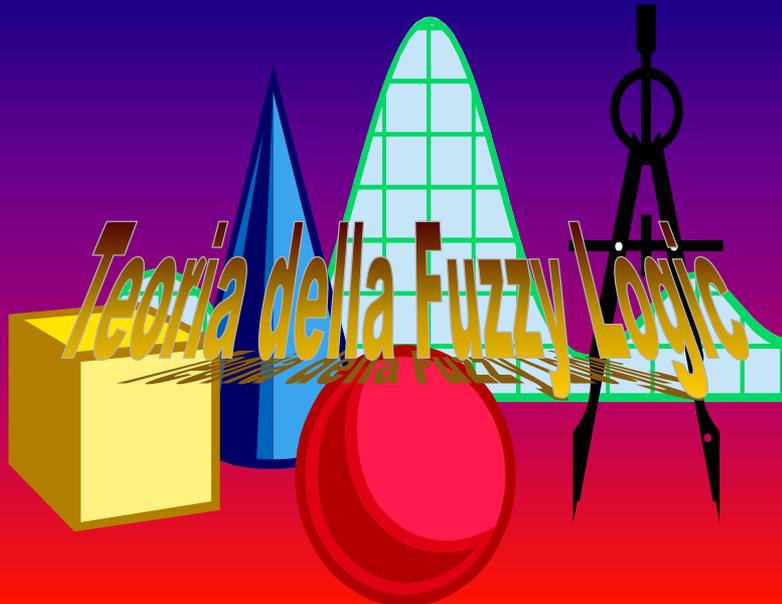
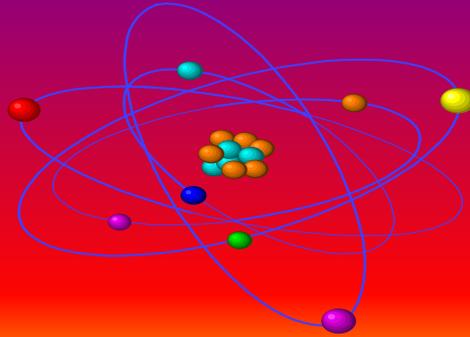


- Rappresentazione della conoscenza
- ▷ Schemi di ragionamento
- ▲ Implicazioni filosofiche
- “Fuzzificazione” di vari rami della matematica
- ◆ Confronti con la teoria delle probabilità

*Nei primi anni del '90 è cominciato il processo di integrazione della fuzzy logic e delle reti neurali e degli algoritmi genetici ciò che può essere definito l'inizio della Teoria del Soft Computing*



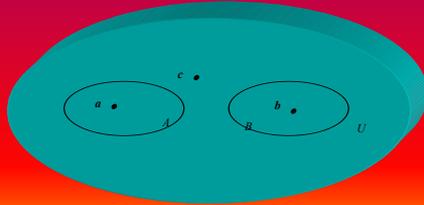
Certamente la teoria di fuzzy set e le sue applicazioni industriali hanno rappresentato un elemento di innesco per il decollo del Soft Computing e delle sue applicazioni



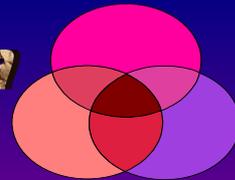
# Teoria dei Fuzzy set



Nella teoria degli insiemi tradizionale un elemento dell'universo può appartenere ad un dato insieme oppure no. Ad esempio tra tutte le persone di una famiglia, elementi  $u$  di  $U$ , l'elemento persona "a" appartiene all'insieme  $A$  delle persone con età inferiore ai 30 anni e non appartiene all'insieme  $B$  delle persone con più di 70 anni. Quindi, il grado di appartenenza di un elemento nei confronti di un dato insieme può assumere solo i valori logici "vero" o "falso" cioè, come si suole dire, valori "crisp".



## *...introduzione al problema*



*Nelle situazioni più comuni, tuttavia, si incontrano casi nei quali non conviene delineare un confine netto per gli insiemi; ad esempio, volendo considerare la classe delle persone giovani, sembra una forzatura fissare dei valori numerici in anni per delimitarne l'intervallo di appartenenza.*

*In un caso del genere è più interessante invece conoscere quanto una data persona può definirsi giovane, cioè in che misura può considerarsi tale. E' proprio da questa semplice constatazione che prende spunto la teoria dei fuzzy set.*

## Definizione....



*Un fuzzy set è una generalizzazione di un insieme tradizionale, ottenuta assegnando ad ogni suo elemento un grado di appartenenza compreso tra 0 ed 1. In questo modo si può capire quanto più una data persona "a" soddisfa la caratteristica del concetto "giovane", continuando ad indicare con i valori estremi 1 e 0 la perfetta appartenenza o meno al dato insieme. In questo modo l'insieme A delle persone giovani sarà costituito da tutti elementi persone di U, ognuno con il suo grado di appartenenza ad A, il quale, potendo assumere valori con continuità e non in modo brusco, fornisce un'idea più vicina alla realtà del concetto di giovane riferito a quella persona.*

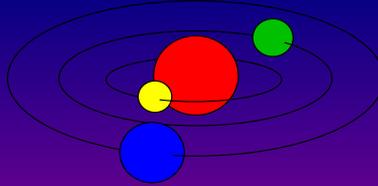
## ...appartenenza...



Con tale definizione si evince quindi che nessun elemento dell'universo  $U$  risulta essere non appartenente (nel senso dell'insiemistica ordinaria) ad un fuzzy set, e ciò in virtù del concetto di grado di appartenenza. Pertanto un elemento che nell'insiemistica ordinaria verrebbe considerato come non appartenente ad un dato insieme, in un contesto fuzzy gli verrebbe invece associato un grado di appartenenza basso, o, al limite, nullo.

In sintonia con quanto detto nell'introduzione quindi, la teoria dei fuzzy set rappresenta il superamento della concezione secondo la quale una data asserzione può essere o solo vera o solo falsa.

## Variabili linguistiche



La logica fuzzy permette di approdare alle soluzioni attraverso un metodo deterministico che, mascherato da una struttura di tipo "linguistico", consente di avere una struttura versatile e adattabile ad ogni tipo di sistema. E' noto infatti che il linguaggio verbale è ridondante, ovvero lascia abbastanza spazio all'ambiguità e all'incertezza.

La logica fuzzy quindi rappresenta una sorta di fusione tra due approcci basilamente antitetici.

## ...definizione



*Una variabile linguistica è una variabile i cui valori sono parole o frasi anziché numeri. Tornando all'esempio precedente, asserendo che una data persona è giovane, si fa riferimento alla variabile linguistica "età", i cui valori linguistici potrebbero appunto essere "giovane", "di mezza età" ed "anziano". Quindi, fissata una variabile linguistica, la specificazione dei suoi valori comporta allo stesso tempo la specificazione degli insiemi fuzzy prima discussi.*

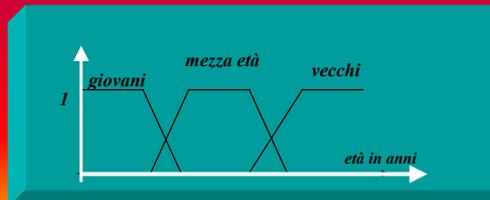
*Analiticamente una variabile linguistica nell'universo del discorso  $U$  è caratterizzata da un insieme  $W(x) = (W_{1x}, \dots, W_{nx})$  e da un insieme  $M(x) = (M_{1x}, \dots, M_{nx})$ .  $W(x)$  è l'insieme contenente tutti i valori linguistici che può assumere  $x$ ,  $M(x)$  contiene invece un set di funzioni  $M_{ix}$  specificanti, ciascuna, il grado di appartenenza di ogni elemento dell'universo  $U$  a  $W_{ix}$ , cioè all' $i$ -esimo fuzzy set individuato dalla variabile linguistica  $x$ .*



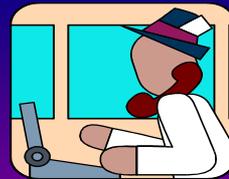
# Funzioni di appartenenza

Considerando una variabile linguistica, ad ogni suo valore linguistico, per quanto detto in precedenza, si può associare un sottoinsieme fuzzy, i cui elementi saranno caratterizzati da un grado di appartenenza. Si può così identificare una funzione di appartenenza ad un sottoinsieme fuzzy, che associa ad ogni elemento  $u$  dell'Universo del Discorso  $U$  il corrispondente grado di appartenenza a quel sottoinsieme. Nella insiemistica ordinaria tale funzione può assumere solo i valori logici "vero" o "falso", è cioè "crisp"; invece, nella teoria dei sistemi fuzzy ha un ruolo molto importante, potendo assumere valori reali che variano con continuità da 0 ad 1.

*In un sistema di assi cartesiani si può rappresentare, ad esempio, il sottoinsieme fuzzy giovane con il grafico della funzione di appartenenza.*



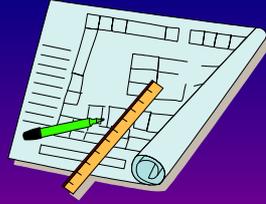
....analiticamente parlando



Analiticamente si può dire che nell' Universo del Discorso  $U$  un fuzzy set  $F$  è caratterizzato da una funzione di appartenenza  $m_f(\cdot)$  definita in  $U$ , che assume valori reali nell'intervallo  $[0,1]$ ; è quindi rappresentato da un insieme di coppie ordinate, ognuna composta da un generico elemento appartenente ad  $U$  e dal suo grado di appartenenza  $m_f(u)$ , cioè

$$F = \{ (u, m_f(u)) \mid u \in U \}.$$

# Regole Fuzzy



I fuzzy set possono essere considerati un'estensione degli insiemi ordinari, d'altra parte la fuzzy logic costituisce un'estensione della logica ordinaria. Quindi, così come avviene tra l'insiemistica e la logica ordinaria, si possono ricavare delle corrispondenze anche tra la teoria dei fuzzy set e la fuzzy logic. Ad esempio agli operatori unione, intersezione e complemento agenti sui sistemi fuzzy corrispondono rispettivamente gli operatori logici OR, AND e NOT, al grado di appartenenza di un elemento in un fuzzy set può corrispondere il valore vero di una proposizione nella fuzzy logic.

Infine anche le implicazioni tra sottosistemi fuzzy possono essere rappresentate mediante regole. Le regole che governano un sistema fuzzy vengono spesso scritte usando espressioni linguistiche che formalizzano le regole empiriche per mezzo delle quali un operatore umano è capace di descrivere un processo usando la sua esperienza.

# Predicati Fuzzy



Tali regole fanno uso di relazioni logiche tra argomenti chiamate predicati. Si parla in particolare di predicati fuzzy i quali si contrappongono su certi aspetti ai predicati normali.

Ad esempio gli esempi seguenti costituiscono rispettivamente un predicato normale e fuzzy.

Prezzo = 28  
Prezzo = alto

Nel primo caso, il predicato può essere vero o falso, nel secondo caso, alto è un insieme fuzzy, definito in un dominio  $P_{min} - P_{max}$  e il prezzo può essere "alto" con gradi di verità compresi tra zero e uno.

*In generale, quindi, un predicato fuzzy ha la forma  $X = F$ , dove  $X$  è una variabile definita in un dominio  $X_{min} - X_{max}$  e  $F$ , denotato da un termine linguistico, come "alto", "veloce", "caldo", è un insieme fuzzy nello stesso dominio.*

## In generale una regola condizionale fuzzy è del tipo:

**if premessa then conclusione**

La *premessa* è costituita da un'asserzione in cui i predicati fuzzy  $P_i$  (che chiameremo antecedenti) della forma generale  $(x_i \text{ is } A_i)$  possono essere combinati da diversi *operatori* quali gli operatori logici AND e OR; in questo caso  $x_i$  è una variabile linguistica definita nell'universo del discorso  $U$  ed  $A_i$  è uno dei nomi del term set di  $U$ . La *conclusione* indica le azioni da intraprendere quando vengono soddisfatte le condizioni della premessa.

## Un esempio...

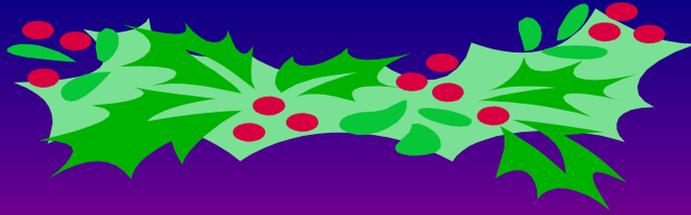


Un esempio di regole condizionali fuzzy che usano tali operatori è dato da:

if  $(P_1 \text{ and } P_2 \text{ or } P_3)$  then  $P_4$   
dove  
 $P_1 = (x_1 \text{ is } A_1), \quad P_2 = (x_2 \text{ is } A_2),$   
 $P_3 = (x_3 \text{ is } A_3), \quad P_4 = (y_4 \text{ is } B_4),$

Il predicato  $(x_i \text{ is } A_i)$  restituisce come risultato il grado di appartenenza della variabile linguistica  $x_i$  relativamente all'insieme fuzzy  $A_i$ . L'applicazione degli operatori fuzzy ai predicati della premessa fornisce ancora un valore compreso tra 0 ed 1, ricavato mediante le corrispondenze riportate nella tabella seguente.

Operatore	Significato
AND	MIN(,)
OR	MAX(,)
NOT	1-



Considerando un universo del discorso finito, cioè con un numero finito di elementi, una funzione di appartenenza ad un sottosistema può essere identificata da un array, i cui valori sono dati dal grado di appartenenza a quel sistema di ogni elemento dell'universo.



## Sistemi Fuzzy



Un sistema fuzzy trasforma determinati input (per esempio, la temperatura  $T$  di una stanza, rilevata da un sensore) in opportuni output (per esempio, la velocità  $V$  di un ventilatore che deve raffreddare la stanza) :  $C = f(V)$ .

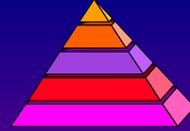
In generale, si hanno però  $n$  input  $I_i$  e  $m$  output  $O_j$ , per cui :

$$O_1 = f_1(I_1, I_2, \dots, I_n)$$

$$O_2 = f_2(I_1, I_2, \dots, I_n)$$

$$O_3 = f_3(I_1, I_2, \dots, I_n)$$

# Base di conoscenza Fuzzy



Il comportamento dei sistemi fuzzy è definito da una specie di base di conoscenza : essa comprende la descrizione degli insiemi fuzzy, input e output, e le regole che associano gli uni agli altri. Le regole dei sistemi fuzzy sono principi generali piuttosto che regole precise : ad esempio non ci sono regole come “se la velocità supera 100 Km/h, allora occorre girare la valvola di 30 gradi”, ma piuttosto regole come “se la velocità è media, allora occorre girare la valvola di un angolo medio”.

Le regole fuzzy vengono eseguite tutte contemporaneamente, in parallelo conferendo al sistema quindi la possibilità di comprendere le relazioni tra input e output.

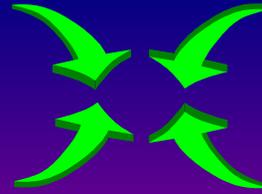
## Funzionamento di un sistema Fuzzy



Esaminiamo ora il funzionamento generale di un sistema fuzzy. Si abbiano  $r$  regole del tipo  $(x = A_i \text{ and } y = B_j \rightarrow z = C_k)$ , con due input, un output,  $N$  insiemi  $A_i$  (nel dominio  $x_1, \dots, x_n$ )  $M$  insiemi  $B_j$  (nel dominio  $y_1, \dots, y_m$ ), e  $P$  insiemi  $C_i$  (nel dominio  $z_1, \dots, z_p$ ).

Il funzionamento comprende le tre fasi

## Fuzzificazione



Vengono opportunamente attivati gli insiemi input (fuzzy),  
in funzione dei valori attuali delle variabili input (non fuzzy).  
Nel caso di due variabili  $x, y$  e dei relativi insiemi input :

$$A_1, A_2, \dots, A_N$$
$$B_1, B_2, \dots, B_M$$

si otterranno, come vedremo tra poco, per i  
valori attuali  $x = x_o, y = y_o$ , i sottoinsiemi input :

$$A'_1, A'_2, \dots, A'_N,$$
$$B'_1, B'_2, \dots, B'_M$$

## Associazione input-output

E' la trasformazione dei precedenti  
insiemi input (con apice) negli insiemi output fuzzy :  
 $(C'_1, C'_2, \dots, C'_p)$ ,

applicando le regole :  $A'_i$  and  $B'_j \rightarrow C'_k$ ,

## Defuzzificazione

In questa fase i precedenti insiemi output  $C'_k$   
vengono consolidati in un solo insieme  
output  $C'$  che, a sua volta, deve essere convertito  
in un ben determinato valore attuale  $z_o$  della variabile output  
 $z$  (viene cioè "defuzzificato").

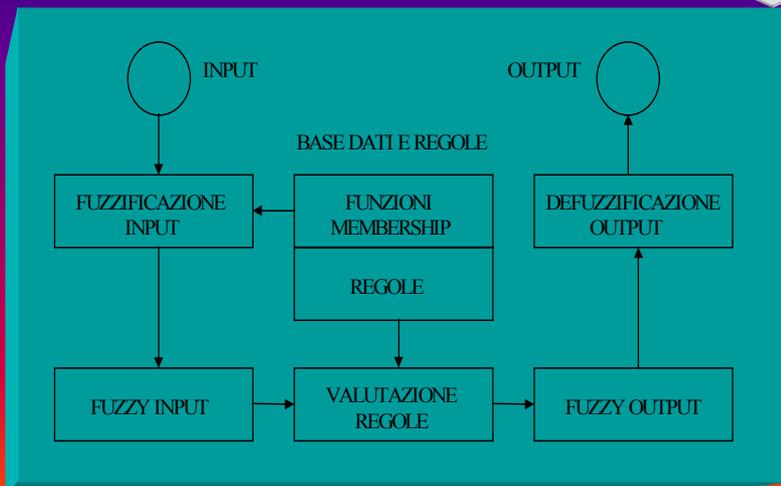
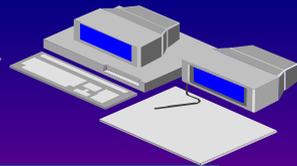
# *L'architettura di un sistema fuzzy, ha quindi come componenti:*

Una base di dati che descrive gli insiemi fuzzy  
(funzioni di appartenenza)



Una base di regole fuzzy, un fuzzificatore dell'input, un associatore input-output (valutazione regole) e un defuzzificatore dell'output.

## *Architettura di un sistema fuzzy*



# Ancora sulla Fuzzificazione



La prima operazione di un sistema fuzzy consiste nell'attivare gli insiemi input, in funzione del valore attuale delle sue variabili input. Abbiamo visto che un insieme fuzzy  $A$  si può rappresentare nel dominio discreto  $n$ -dimensionale  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , tramite il vettore :

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_n) \text{ dove } a_i = m(A, x_i) \leq 1$$

è il grado di appartenenza di  $x_i$  ad  $A$ .

Il valore attuale di  $x$  coincide con un ben determinato  $x_1 \leq x_i \leq x_n$  (poniamo con  $x_4$ ), al quale corrisponde una determinata funzione di appartenenza  $a_4 = m(A, x_4)$ , grado di verità dell'appartenenza di  $x_4$  ad  $A$ . Questo valore  $x_4$  attiva, come giustificheremo tra poco, un sottoinsieme  $A'$  di  $A$ .

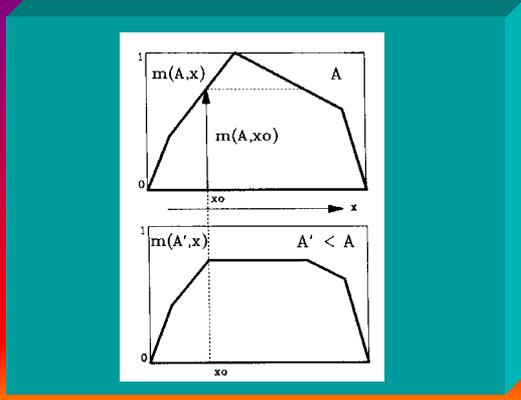
Si hanno due modalità di attivazione :

Correlation-Minimum Encoding  
Correlation-Product Encoding



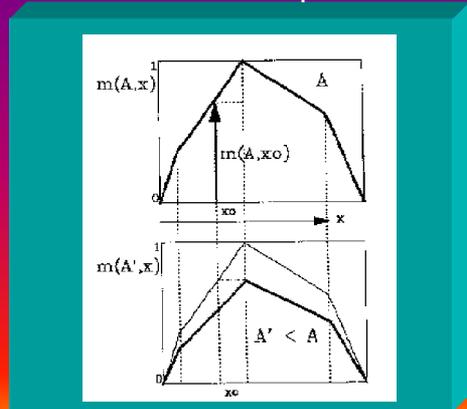
# Correlation-Minimum Encoding

Viene attivato un sottoinsieme :  
 $A' = (a'_1, a'_2, \dots, a'_n)$ , con  $a'_i = \min(a_4, a_i)$   
 cioè la figura  $A'$  si ottiene dalla figura  $A$  tagliandone  
 la parte superiore ad  $a_4$ .



# Correlation-Product Encoding

Viene attivato un sottoinsieme :  
 $A' = (a'_1, a'_2, \dots, a'_n)$ , con  $a'_i = a_4 \times a_i$   
 cioè la figura  $A'$  si ottiene dalla figura  $A$  riducendone le ordinate  
 nella scala  $a_4 \leq 1$



Naturalmente, se fosse  $a_4=0$ ,  
 l'insieme  $A'$  avrebbe,  
 in entrambi i casi,  
 elementi tutti nulli e  
 coinciderebbe con  
 l'insieme vuoto

## Ancora sull'associazione fuzzy input-output



La seconda operazione di un sistema fuzzy consiste nell'attivare gli insiemi output, in funzione delle regole applicabili e degli insiemi già attivati in input. Nel nostro esempio di riferimento, avendo già attivato gli insiemi  $A'_p, B'_p$ , occorrerà ora determinare in che misura attivare gli insiemi  $C_k$  nel dominio  $(z_1, z_2, \dots, z_p)$  della variabile  $z$ .

Iniziamo col considerare il caso di una sola associazione input-output, espressa da una sola regola con un solo antecedente:  
 $A \rightarrow B$ , per esempio "Temperatura alta  $\rightarrow$  Velocità ventilatore alta".  
 Sappiamo che  $A$  e  $B$  sono due vettori non binari:

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$$

$$B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$$

di dimensioni rispettive  $n, m$ .

Per ottenere l'output  $B$  dall'input  $A$  occorrerebbe allora, da un punto di vista matematico, moltiplicare il vettore  $A$  per una opportuna matrice  $M$  di dimensioni  $n \times m$  e con determinati elementi  $m_{ij}$ :  
 $B = A \times M$ , con  $b_j = \sum_i a_i \times m_{ij}$ , per  $0 \leq i \leq n, 0 \leq j \leq m$ .

# Composizione Min-Max



Le operazioni fuzzy su vettori e matrici vengono eseguite nel modo seguente : alla somma di elementi si sostituisce l'operatore max e al prodotto di elementi l'operatore min.

Questa operazione fondamentale è denominata  
Composizione Min-Max

$$\begin{aligned} \sum_i a_i &\text{ diventa } \max(a_i) \\ a_i \times a_j &\text{ diventa } \min(a_i, a_j) \\ \sum(a_i, a_j) &\text{ diventa } \max(\min(a_i, a_j)) \end{aligned}$$

## ....continua !



Pertanto avremo, al posto della moltiplicazione  $B = A \times M$  la Composizione Min-Max ("o" è il relativo operatore) :

$$B = (A \text{ o } M), \quad \text{con} \quad b_i = \max \min(a_i, m_{ij})$$

Vi sono due modi per ottenere gli elementi di  $m_{ij}$  di  $M$  :

Correlation-Minimum Encoding :  $m_{ij} = \min(a_i, b_j)$

Correlation-product Encoding :  $m_{ij} = a_i \times b_j$

Nei due casi,  $m_{ij}$  è il prodotto, fuzzy o normale, degli elementi  $a_i, b_j$  e la matrice

$M$  è fornita rispettivamente da :

$$M = A^T \text{ o } B \text{ oppure } M = A^T \times B$$

dove  $A^T$  è il vettore trasposto di  $A$  (verticale se  $A$  è orizzontale).

In pratica, però, non si ha mai una sola regola, bensì un repertorio di  $r$  regole :

$$\begin{aligned} A_1 &\rightarrow B_1 \\ A_2 &\rightarrow B_2 \\ A_r &\rightarrow B_r \end{aligned}$$

cioè anche

$$\begin{aligned} A'_1 &\rightarrow B'_1 \\ A'_2 &\rightarrow B'_2 \\ A'_r &\rightarrow B'_r \end{aligned}$$

Non tutte le regole saranno generalmente applicabili, perché al valore attuale della variabile  $x$  corrisponderanno solo pochi insiemi  $A'_i$  non nulli, come abbiamo già rivelato. Otterremo quindi solo pochi insiemi output  $B'_i$ , che sarà opportuno consolidare in un solo insieme  $B'$ .

# ...ancora !



Il modo più semplice per farlo è il ricorso ad una loro combinazione lineare :

$$B' = \sum_i (W_i \times B_i)$$

dove i pesi  $W_i$  dovrebbero riflettere la credibilità, la frequenza o la forza della regola  $A_i \rightarrow B_i$ .

Comunemente però si adotta  $W_i = 1$ , per cui  $B'$  si riduce a una semplice somma :

$$B' = \sum_i B_i$$

Esaminiamo, infine il caso più realistico costituito da regole con più antecedenti nella *premessa*.

Basterebbe considerare due antecedenti  $A, B$  connessi da “and”, poiché i risultati possono essere generalizzati facilmente a qualunque numero di antecedenti, comunque connessi.

Si abbia dunque la regola :

$$A \text{ and } B \rightarrow C$$

che potremo scindere nelle due seguenti :

$$A \rightarrow C_1$$

$$B \rightarrow C_2$$

$$C = C_1 \text{ and } C_2$$

I valori attuali delle variabili  $x, y$  attivano i sottoinsiemi  $A'$  e  $B'$ , quindi l'applicazione in parallelo delle due regole produrrà, nel caso di correlation-Minimum Encoding, i corrispondenti  $C'_1$  e  $C'_2$ .

Nel caso invece di due antecedenti con connettivo “or” :

$$A \text{ or } B \rightarrow C,$$

al posto dell'intersezione occorrerebbe operare la congiunzione tra  $C'_1$  e  $C'_2$ .

## Ancora sui metodi di defuzzificazione



Il processo di defuzzificazione consiste nell'estrapolazione del valore più rappresentativo dall'universo del discorso.

Dato un sottoinsieme fuzzy  $F$  sullo spazio d'uscita  $Y$ , il processo di defuzzificazione ha il compito di selezionare un opportuno elemento  $y$ . I metodi utilizzati per realizzare tale operazione sono diversi; i più noti sono il metodo del massimo ed il metodo del centro di gravità.

## Primo metodo...



Il primo metodo assume come punto rappresentativo di  $C'$  il suo valore massimo  $\max(m(C', z_k))$  con  $1 \leq k \leq p$ .

Si ottiene così un determinato valore di  $k$  in corrispondenza del quale si ha il valore cercato.

Il metodo però fallisce nel caso di più massimi e ignora la maggior parte dell'informazione contenuta nella funzione  $m(C', z_k)$ .

## Secondo metodo...



Il secondo metodo, quello più usato, consiste nel determinare l'ascissa del centroide dell'area sottesa alla funzione  $m(C', z_k)$ , cioè del suo baricentro

$$z_0 = \frac{\sum_k m(C', z_k) \times z_k}{\sum_k m(C', z_k)}$$

Naturalmente nel caso di dominio continuo della variabile  $z$  occorre sostituire alle sommatorie gli integrali. Posto  $m(C', z) = f(z)$  si ha

$$z_0 = \frac{\int f(z)z dz}{\int f(z) dz} = \frac{\int f(z)z dz}{A}$$

dove  $A$  è l'area sottesa alla funzione  $f(z)$ . Una proprietà importante, e di interesse pratico, è la seguente: tagliando l'area globale in  $n$  strisce verticali di area  $A_i$  e centroide  $z_i$  si ha

$$z_0 = \frac{\sum A_i z_i}{\sum A_i} = \frac{\sum A_i z_i}{A}$$

Questa proprietà semplifica i calcoli in quanto l'area  $A$  è generalmente la somma di figure semplici (triangoli, rettangoli o trapezi) il cui centroide si calcola facilmente.

# Alcune applicazioni basate sulla fuzzy logic

*CONSUMER  
TELECOM  
INDUSTRIAL  
AUTOMOBILI  
DATA BASE*



# Fuzzy Logic e TELECOM

**Ricevitori** □  
**PLL**  
**Pulse Shaping Filters**  
**Ricerca automatica di canale**  
**Gestione reti ATM**  
**Supervisore gestione del traffico**  
**compressione**



# FUZZY LOGIC e CONSUMER



**HI-FI Racks**  
effetti di ambiente  
filtraggio in genere



**Macchine domestiche**  
lavatrice, frigorifero, forno  
sistemi antifurto, aspirapolvere



**Applicazioni video**  
autofocus, esaltazione contorno etc  
Condizionatori d'aria



# FUZZY LOGIC E INDUSTRIAL

- Sistemi di diagnostica
- Controllo attivo di vibrazioni
- Sistemi per il controllo di qualità
- Sistemi di potenza
  - ◆ DC/DC converter, DC/AC conv, controllo motori
- Robotica
  - ◆ Controllo in ambiente incerto, pianif. traiettoria,
  - ◆ Visione
- Ricerca di difetti
- Apparecchiature biomediche



# FUZZY LOGIC E AUTOMOBILI!



***Controllo iniezione***

***ABS***

***Check control system***

***Sospensioni attive***

***Controllo gas di scarico***

***Antifurto***

