



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA MECCANICA, NUCLEARE E DELLA PRODUZIONE
Via Diotisalvi, 2 – 56126 PISA – ITALY

“RICOMPOSIZIONE DEL RISCHIO INDUSTRIALE ED AMBIENTALE ATTRAVERSO UNA APPLICAZIONE DELLA LOGICA FUZZY”

M.N.CARCASSI, G.M.CERCHIARA

E-mail: carcassi@ing.unipi.it Tel 050-585254 Fax 050-585265

Sommario.

Nella memoria viene descritta una applicazione della logica Fuzzy alla problematica della ricomposizione del Rischio Industriale (rappresentato tramite curve isorischio), con quello Ambientale (espresso mediante mappe di indici ambientali).

In particolare è stato messo a punto un modello basato sulla logica Fuzzy che è capace di mettere a frutto l'esperienza di vari esperti del settore per la risoluzione di un problema complesso come quello che è oggetto dell'indagine.

Il modello teorico definisce una quantità, denominata TIA (Tollerabilità Industriale Ambientale) che, riferita ad un territorio, ne descrive lo stato, sia dal punto di vista di rischio industriale che di impatto ambientale, riuscendo a superare l'inevitabile difficoltà di gestire parametri disomogenei come quelli considerati.

Il modello prende in considerazione alcuni parametri caratterizzanti il rischio industriale e quello ambientale che definiscono il problema. Attraverso la raccolta di pareri di esperti nel settore, vengono costruite le funzioni di appartenenza che descrivono i suddetti parametri secondo la logica Fuzzy. Il modello li elabora mediante leggi redatte tramite l'uso di costrutti logico-linguistici così come prescrive la teoria della logica Fuzzy.

Per la risoluzione del modello sono state usate le tecniche di inferenza grafica risolte dal codice MATLAB 5.1; come esemplificazione viene presentata una prima applicazione della TIA all'area di Piombino.

Premessa.

Molte sono le definizioni della parola Rischio, quella che meglio riflette il "sentire" attuale è: l'aspetto negativo delle possibilità.

Infatti questa definizione esplicita le due categorie che sono presenti nel concetto di rischio; il danno (aspetto negativo) e la sua possibilità.

Il processo valutativo del rischio è quindi un processo che definito un livello di danno, che può derivare da una determinata attività, ne valuta la possibilità di accadimento. Nel processo valutativo le maggiori difficoltà nascono in questa seconda fase; cioè nella capacità pratica di stimare le "possibilità" di accadimento. Infatti lo "spazio" del possibile è molto più grande dello "spazio" del reale, inteso come catena di eventi già accaduti e di cui abbiamo una evidenza pratica; in altre parole possiamo ragionevolmente conoscere quello che è già accaduto ma abbiamo difficoltà a valutare quant'altro potrebbe accadere. Tale difficoltà cresce se si pensa che l'evoluzione di un evento incidentale spesso non è univoco ma è condizionata da fattori sia interni che esterni che possono comportare evoluzioni incidentali con entità e tipologia di danni diversi.

La valutazione comporta una misura di tale possibilità; tale misura può essere quantitativa (0,5, 5% et.) o qualitativa (alta, media, bassa) ed è lo stesso problema della misura che introduce ulteriori difficoltà nel processo valutativo.

La grandezza più comunemente usata per quantificare un grado di accadimento è la Probabilità. Storicamente la teoria della probabilità è stato il mezzo primario per rappresentare l'incertezza dei modelli matematici. A causa di questo approccio si è spesso supposto che tutte le incertezze abbiano le caratteristiche delle incertezze proprie di un fenomeno casuale (random). Un processo casuale è quello in cui i risultati di ogni realizzazione del processo è dovuto solo al caso; non è possibile prevedere "a priori" quale sarà il risultato di una realizzazione del processo. Quello che è possibile, di un processo casuale, è la precisa descrizione della "statistica" nel caso di ripetute e numerose realizzazioni del processo stesso - il classico esempio è quello del risultato del lancio di una moneta.

Tuttavia non tutte le incertezze sono casuali; alcune di esse sono non casuali in quanto legate a misure vaghe o imprecise è quindi non possono essere trattate con la teoria della probabilità.

Problemi con alto grado di complessità sono in generale definiti da parametri e dati vaghi e imprecisi; la modellistica Fuzzy, a differenza delle attuali metodologie numeriche, riesce a trattare ed elaborare questi dati dando degli ottimi risultati.

Il fine dell'analisi del rischio industriale ed ambientale è "la generazione del consenso su una valutazione del rischio che dipende dalla trasparenza del processo e dei metodi che lo hanno generato più che dalla precisione dei risultati. In quest'ottica le tecniche che permettono di esprimere quantitativamente gli aspetti qualitativi, possono risultare più rilevanti delle tecniche numeriche." (G.Volta).

La precisione dei risultati dipende sia dalla modellistica adottata sia dalla complessità del problema, nell'accezione prima definita; si possono così distinguere tre diverse categorie di modelli la cui efficacia dipende dalla precisione delle predizioni a cui si perviene applicandoli [1].

Alla prima categoria appartengono i modelli matematici classici, alla seconda categoria appartengono modelli che si occupano della risoluzione di problemi di complessità media e/o medio-alta, questi sono ad esempio le reti neurali e gli algoritmi genetici [4][5] che emulano rispettivamente la struttura del cervello umano ed i meccanismi genetici delle specie in natura. Tali strumenti possono essere applicati efficacemente a problematiche che coinvolgano la descrizione di fenomeni fisici complessi [6], sui quali si ha una vasta conoscenza empirica. Alla terza e ultima categoria appartiene il modello di logica trattato in questo lavoro, atto a risolvere problemi di alta e/o altissima complessità.

In figura 1 è riportato l'andamento qualitativo della precisione dei risultati in funzione della complessità dei problemi.

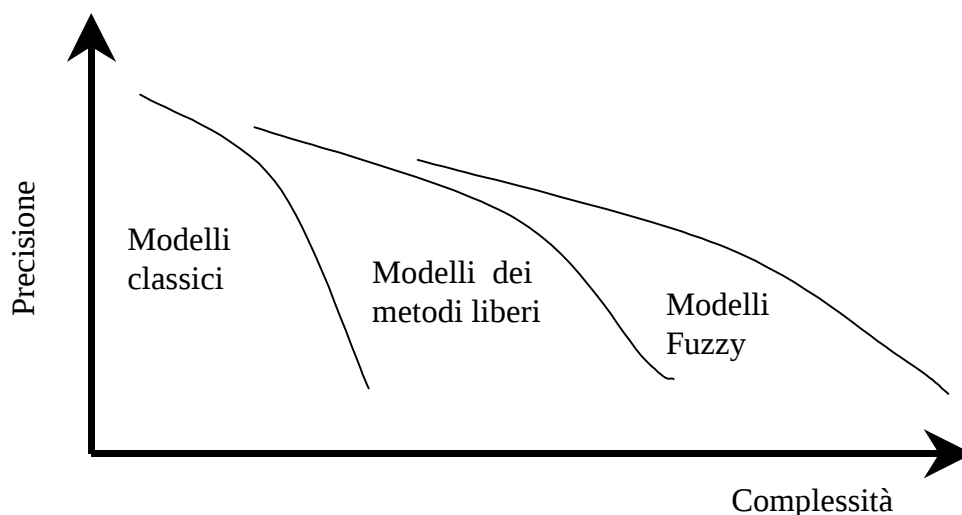


Fig.1 - Andamento qualitativo della precisione dei risultati in funzione della complessità dei problemi

Introduzione

Le valutazioni del rischio industriale e dell'impatto ambientale in una determinata area industrializzata sono tecniche complesse; a maggior ragione la ricomposizione di questi due rischi è un problema altamente complesso (nel senso di vago/impreciso).

Lo sviluppo, delle attività industriali attualmente operanti o previste in una determinata area, deve essere uno "sviluppo sostenibile", cioè deve minimizzare l'impatto industriale sulla popolazione e sull'ambiente nel territorio interessato generando consenso. In questo caso i modelli di ricomposizione, pur nei loro limiti, tentano di dare un quadro integrato della situazione con lo scopo di favorire l'individuazione di azioni concrete da attuare per rendere "sostenibile" lo sviluppo industriale in tale area.

Prerequisito di un modello di ricomposizione è l'esistenza di valutazioni del rischio industriale e dell'impatto ambientale relative ad un area industrializzata.

Se da un lato le tecniche di valutazioni di rischio industriale sono ormai consolidate da lungo tempo in quanto esplicitamente previste dalle direttive (Seveso I ed attualmente Seveso II) sugli impianti pericolosi, le applicazioni a specifiche aree Italiane non sono numerose. Tali studi complessi permettono di stimare il rischio locale¹ e quindi di produrre le curve isorischio su una mappa dell'area industrializzata.

Le valutazioni di impatto ambientale sono meno consolidate rispetto alle valutazioni di rischio industriale e solo attualmente, a causa di direttive che le prevedono esplicitamente, sono in corso svariati studi di impatto ambientale non solo rivolti ad aree industrializzate ma anche ad altre aree (si pensi alla studio di impatto ambientale per l'aeroporto di Malpensa). In genere tali studi producono mappe su cui sono riportati i valori di vari indici ambientali previa rilevazione delle grandezze fisico/chimiche/tossiche nell'area.

La tecnica proposta dalla teoria della logica Fuzzy che può essere utilizzata per la costruzione del modello di ricomposizione del rischio, è quella a variabili linguistiche. I parametri del problema, una volta individuati (rischi locali e indici ambientali), possono essere definiti "linguisticamente" e quindi in un modo intelligibile dalla popolazione. (Per non appesantire il testo in Appendice sono riportati i principale principi e relazioni della logica Fuzzy utilizzati per la costruzione del modello di ricomposizione)

¹ il rischio locale è la frequenza con cui si può verificare il danno di riferimento (morte) per effetto di un qualsiasi incidente nell'area sorgente, valutato per una persona che si trovi in un dato punto dell'area di impatto permanentemente (24 ore al giorno, 365 giorni all'anno), senza protezioni o possibilità di fuga.

1 - I modelli di ricomposizione TIA e TIACOM.

Il modello proposto introduce una quantità, denominata TIA (Tollerabilità Industria Ambiente), che, riferita ad una zona, ne descriva lo stato, sia da un punto di vista di rischio industriale che di impatto.

Per un territorio per il quale siano definiti il rischio industriale e gli indici di qualità ambientale, si vuole costruire un modello che tenga conto di entità che, data la loro natura, non sono facilmente associabili l'una all'altra, anche se si sanno essere inevitabilmente collegate. Mentre, da un lato si ha la quantità "rischio" che è misurata in numero di morti/anno e calcolata tramite le tecniche di analisi per incidenti quali BLEVE, UVCE, incendio, nubi tossiche e altri, dall'altro si hanno indici di qualità dell'aria, delle acque, e del suolo che descrivono lo stato, attuale o futuro, ambientale.

Il modello proposto può essere applicato ad una qualsiasi area industrializzata che sia stata caratterizzata da un punto di vista di rischio individuale (in generale con una rappresentazione del rischio tramite le curve isorischio) e contemporaneamente, per l'area in esame, devono essere disponibili i dati relativi ai parametri ambientali delle tre matrici aria, suolo e acque.

Gli indici di qualità, da cui si parte, devono essere riportati su una mappa del territorio in una scala da 10 a -10. Assumendo operativamente con lo zero il valore (se esiste) al di sopra del quale si è fuori dagli standard previsti dalla legge, ed i due estremi della scala che indicano il primo (10) una situazione naturale precedente l'intervento umano (i valori corrispondenti al fondo naturale, in assenza di alcun intervento antropico) ed il secondo (-10) una situazione dove si è superato di un ordine di grandezza il limite di legge [3]. Un eventuale valore positivo indica la bontà della situazione di impatto ambientale in quanto cautelativamente si è al di sotto del limite imposto dalla legge mentre un valore negativo indica una situazione che per legge deve essere corretta.

Un modello di logica Fuzzy è un utile strumento quando si voglia mettere a frutto l'esperienza di uno o, meglio, più esperti del settore per la risoluzione di problemi complessi.

Il problema che si vuole affrontare è complesso nell'accezione per la quale la diversità, la disomogeneità ed il numero dei parametri coinvolti non rendono la sua elaborazione fattibile in termini probabilistico-classici. L'unica tecnica che potrebbe dare dei risultati sarebbe quella che valuta i parametri del problema tramite una "pesatura" da concordare; i vari pesi p_i con $i = 1, 2, \dots, N$ degli N parametri x_i sarebbero correlati a dare la soluzione S del problema, da una relazione del tipo:

$$\sum_{i=1}^N p_i x_i = S \quad \text{con} \quad \sum_{i=1}^N p_i = 1$$

Le tecniche proposte dalla teoria della logica Fuzzy sono un'evoluzione della categoria cui appartiene quella sopra illustrata in quanto permettono una più razionale gestione dei dati.

Il modello utilizza come input le grandezze caratterizzanti il Rischio Industriale ed Ambientale e fornisce come output la Tollerabilità (da definire), che evidenzia una misura del degrado di un territorio in seguito all'insediamento di uno o più impianti industriali.

Si definisce come TIA (Tollerabilità Industria Ambiente) un indice qualitativo che misura oggettivamente la Tollerabilità sociale di un'area industrializzata, in particolare qualifichiamo:

- ❖ TIA-basso = indice che descrive una situazione non tollerabile a causa o di un fattore negativo grandemente fuori misura o di una serie di fattori che in sé sono a norma (od al limite) ma che nel complesso indicano un degrado eccessivo della situazione.
- ❖ TIA-medio = indice che descrive una situazione al limite della tollerabilità che potrebbe essere destabilizzata da un peggioramento decisivo delle caratteristiche di un solo fattore oppure da piccoli cambiamenti in negativo di diversi fattori che sommati divengono consistenti.

- ❖ TIA-alto = indice che descrive una situazione di equilibrio stabile di un territorio non degradato sia considerando l'influenza di ogni singolo fattore sia gli effetti di più fattori insieme.

La TIA tiene conto non solo l'ecologia od il rischio industriale associato al territorio ma cerca di caratterizzare questo sotto vari punti di vista, sulla base dei valori di una serie di parametri sociali misurabili. A questo scopo si può pensare di introdurre parametri quali la densità di popolazione, flora e fauna, evacuabilità, vulnerabilità e arte; la lista potrebbe essere arricchita e la valutazione di parametri quali, per esempio, l'arte o la flora e fauna, dovrebbe essere fatta da esperti del settore.

La TIA cui ci si riferisce in questo lavoro considera la parte ingegneristica del problema, quella che tiene conto di aspetti quali la qualità delle matrici ambientali ed il rischio industriale, compresi nella prima parte del modello, non includendo gli aspetti caratterizzanti il territorio per morf

La completezza della descrizione delle situazioni in cui versa o può versare un territorio dipende dal numero e dal tipo di parametri che vengono scelti; per questo motivo, mentre il metodo di indagine è assolutamente generale, la struttura del modello cambia secondo il territorio considerato.

Per quanto riguarda la rappresentazione degli indici ambientali questa necessita di una legge di correlazione che valga nel range detto $[-10, 10]$; questo potrebbe costituire un limite per la corretta valutazione degli indici anche se, nel peggiore dei casi si può supporre, senza grossi errori, che sia una legge lineare (eventualmente in scala logaritmica se le variazioni sono di diversi ordini di grandezza) a correlare quantità di inquinante al suo indice; bisogna in ogni caso avere il limite di legge fissato (o fissarne uno in assenza di normativa, in modo da stabilire il valore zero).

I parametri che vengono presi in considerazione nel modello sono, per il rischio locale industriale:

Rischio di incidente causa BLEVE (Rb)

Rischio di incidente causa UVCE (Ru)

Rischio di incidente causa incendio (Ri)

Rischio di incidente causa nube tossica (Rn)

Per la qualità ambientale si distinguono le tre matrici aria, acqua, suolo:

Atmosfera

Concentrazione di SO_2 (As)

Concentrazione di NO_x (An)

Concentrazione di PTS (Ap)

Suolo

Caratteristiche Chimiche (Sc)

Fattore di Altezza Piezometrica (Sp)

Acqua

Caratteristiche Fisico-Chimiche (Acc)

Fattore Biotico (Acb)

I fattori tra parentesi sono i simboli usati nel modello di logica Fuzzy delle corrispettive quantità cui sono riferite. Dal modello siffatto si ricava una TIA che non considera il territorio, per questo scopo si potrà in seguito pensare di ricavare la variabile legata al territorio (TER) mediante un modello che utilizzi, ad esempio, seguenti parametri:

Densità di popolazione (Dp)

Evacuabilità (Ev)

Flora e Fauna (Ff)
Vulnerabilità (Vu)
Arte (Ar)

Indicando con F il blocco che si riferisce all'insieme di leggi e procedure di logica Fuzzy si ha :

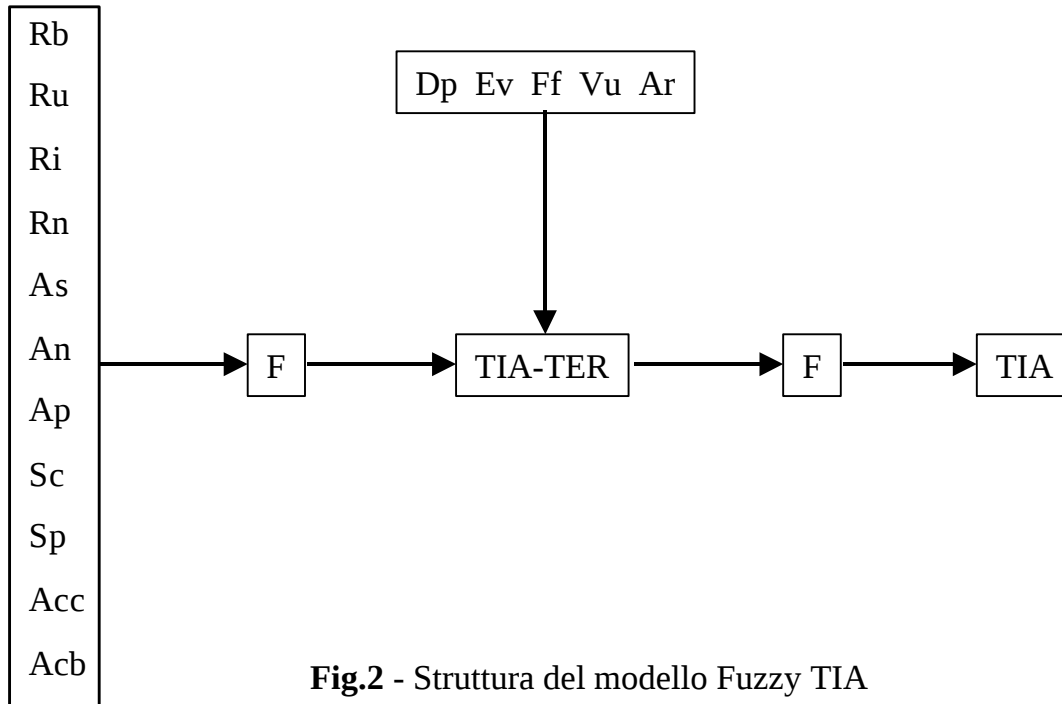


Fig.2 - Struttura del modello Fuzzy TIA

La struttura teorica che porta alla costruzione di un modello Fuzzy prevede come primo passo la determinazione delle funzioni di appartenenza e successivamente la stesura delle leggi di composizione, che saranno il cuore del modello, costituite dalle variabili linguistiche precedentemente fissate. Quanto detto nelle ultime righe, vale come procedura per la costruzione di un qualsiasi modello di logica Fuzzy.

Ricordando che una funzione di appartenenza descrive il parametro cui si riferisce correlando ogni valore del range di definizione del parametro ad un valore compreso in una scala da zero ad uno. Si consideri per primo il parametro rischio definito in un range da $[10^{-1}, 10^{-9}]$; una possibile funzione di appartenenza, $m(R)$, potrebbe essere quella indicata in Fig. 3.

La funzione ha tre partizioni che definiscono un livello di rischio basso, uno medio ed uno

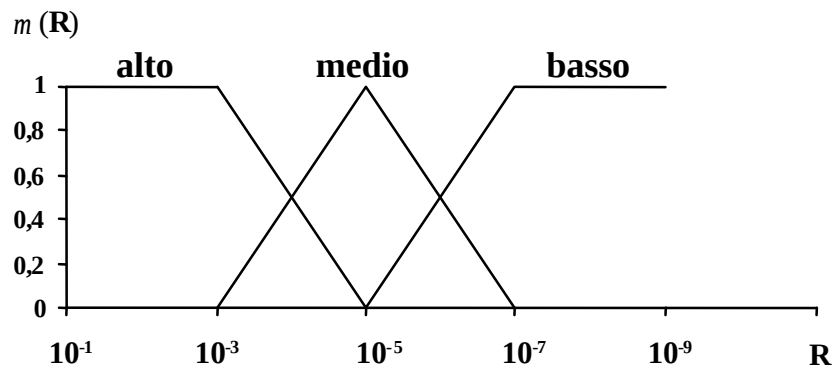


Fig.3 - Esempio di funzione di appartenenza dalla grandezza Rischio

alto; la costruzione di queste funzioni definite linguisticamente può avvenire tramite uno dei metodi di statistica Fuzzy che, di prassi, associano i “pareri” di più esperti ai quali si domanda, riferendosi alla Fig.3, quali siano tre range utili a definire rispettivamente i concetti di rischio alto, medio e basso, rielaborando i dati secondo il cosiddetto Metodo Generale. Il secondo passo da compiere, una volta definiti i parametri e le loro partizioni, è scrivere le leggi linguistiche che regolano il modello; un esempio di legge linguistica riferita al modello TIA potrebbe essere:

IF (rischio = basso) AND (nube tossica = grande) OR (esplosione = grande) THEN (TIA = bassa).

Il numero e la tipologia di queste leggi sono definiti in base ai parametri (al loro partizionamento) che si hanno a disposizione e agli esperti (tecnici e/o tecnicopolitici) coinvolti nella loro stesura.

Nel modello sopra esposto si hanno dodici parametri che devono essere elaborati nel primo blocco Fuzzy, come si vede in Fig.2, più altri cinque col parametro TIA-TER per un totale di sei nel secondo blocco Fuzzy.

Il numero totale di scelte s che si ha a disposizione per l'individuazione delle leggi che regoleranno il modello, si aggira teoricamente su 530000, se si considerano tutti i parametri partizionati a tre. Indicando con r il numero di leggi necessario a costruire la prima parte del modello e con p_i il numero di partizioni dell' i -esimo elemento, se avessimo tre partizioni in tutto per ogni elemento i si avrebbe [1]:

$$s = \prod_{i=1}^{12} p_i = 3^{12} = 531441$$

Il numero di leggi minime necessario r per una soddisfacente risoluzione del problema è:

$$r \ll s \text{ quindi, come buona approssimazione, } r \approx 5000$$

Essendo elevato tale numero di leggi le scelte che si possono fare per rendere gestibile il modello sono due: si adotta uno dei metodi di confronto a coppie che la teoria mette a disposizione per ridurre il numero di parametri, oppure si limita lo studio ad una parte del modello.

Nel primo caso si individueranno i parametri principali e si trascureranno gli altri riducendo così di numero sia le partizioni che le leggi r ; nel secondo caso si prenderà in considerazione solo un numero ridotto di parametri risolvendo il problema in maniera “ristretta”.

Nel secondo caso questo non vuol dire che il lavoro fatto nella stesura delle leggi del problema ristretto vada perduto, perché quando si crederà opportuno estendere l'analisi includendo altri parametri, le nuove leggi, riguardanti le interazioni tra i vecchi parametri e quello nuovo (o quelli nuovi) si andranno ad aggiungere a quelle precedentemente formulate, rendendo il modello più completo.

Optando per questa seconda scelta si considereranno come parametri:

Rischio

Rischio industriale locale (R)

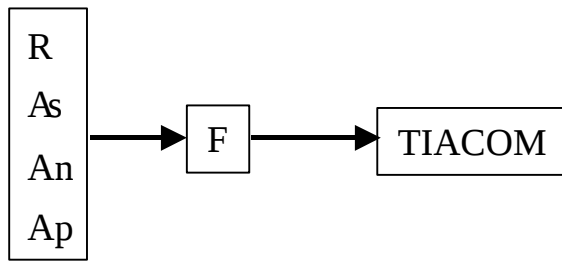
Atmosfera

SO₂ (As)

NO_x (An)

PTS (Ap)

Il modello avrà la struttura illustrata nella seguente Fig 4:



Sarà necessario fissare quattro funzioni di appartenenza di tre partizioni l'una e un numero di scelte s pari a $3^4 = 81$ cui corrisponde un ragionevole numero di leggi $r \approx 20$.

Fig.4 - Struttura del modello TIACOM

Leggi di composizione e funzioni di appartenenza del modello TIACOM

Facendo riferimento alla seguente simbologia:

- il significato delle lettere a, m, b è alto, medio, basso quindi, ad esempio, il parametro $Anb = An$ (concentrazione di NOx in aria) + b (basso) = bassa concentrazione di NOx in aria.
- con $Tmb = TIACOM$ medio-basso, $Tma = TIACOM$ medio-alto avendo scelto per l'output TIACOM un partizione a 5 valori (alto, medioalto, medio, mediobasso e bassa) equidistanti come mostra la seguente fig. 5 (Matlab 5.1) in cui è illustrata la partizione di Sugeno (ad istogramma) scelta per l'output TIACOM.

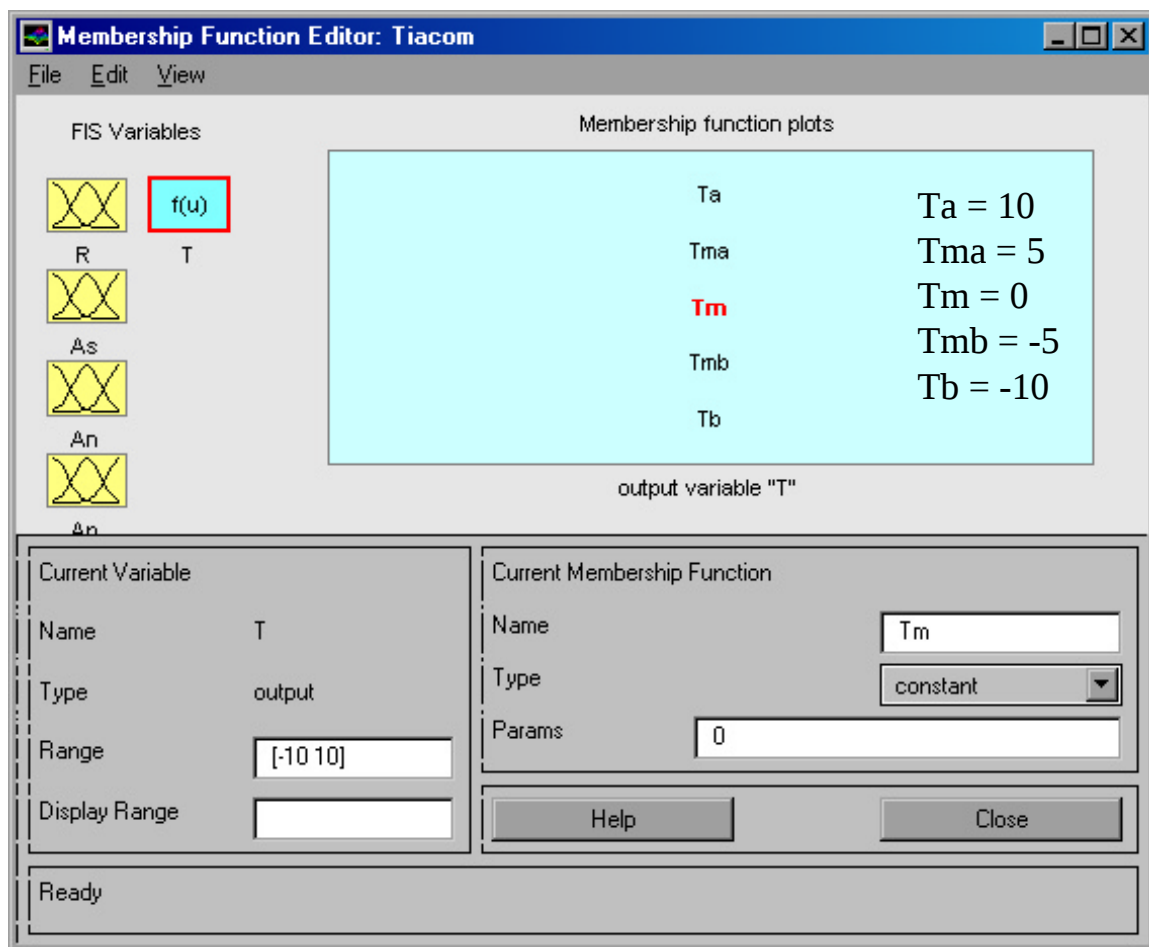


Fig. 5-Funzione di appartenenza di tipo di Sugeno del TIACOM

Considerando i parametri equipollenti, il criterio che è stato scelto per redigere le leggi è il seguente:

Con uno dei quattro parametri a livello alto (a) $\rightarrow$ Tb
 Con un numero di parametri nella media (m) = 4 $\rightarrow$ Tb
 Con un numero di parametri nella media (m) = 3 ed il rimanente a livello basso (b) $\rightarrow$ Tmb
 Con un numero di parametri nella media (m) = 2 ed i rimanenti a livello basso (b) $\rightarrow$ Tm
 Con un numero di parametri nella media (m) = 1 ed i rimanenti a livello basso (b) $\rightarrow$ Tma
 Con tutti i parametri a livello basso (b) $\rightarrow$ Ta

Dal precedente criterio si ottengono le seguenti 20 leggi:

1. If (R is Ra) then (T is Tb)
2. If (As is Asa) then (T is Tb)
3. If (An is Ana) then (T is Tb)
4. If (Ap is Apa) then (T is Tb)
5. If (R is Rm) and (As is Asm) and (An is Anm) and (Ap is Apm) then (T is Tb)
6. If (R is Rm) and (As is Asm) and (An is Anm) and (Ap is Apb) then (T is Tmb)
7. If (R is Rm) and (As is Asm) and (An is Anb) and (Ap is Apm) then (T is Tmb)
8. If (R is Rm) and (As is Asm) and (An is Anb) and (Ap is Apb) then (T is Tm)
9. If (R is Rm) and (As is Asb) and (An is Anm) and (Ap is Apm) then (T is Tmb)
10. If (R is Rm) and (As is Asb) and (An is Anm) and (Ap is Apb) then (T is Tm)
11. If (R is Rm) and (As is Asb) and (An is Anb) and (Ap is Apm) then (T is Tm)
12. If (R is Rm) and (As is Asb) and (An is Anb) and (Ap is Apb) then (T is Tma)
13. If (R is Rb) and (As is Asm) and (An is Anm) and (Ap is Apm) then (T is Tmb)
14. If (R is Rb) and (As is Asm) and (An is Anm) and (Ap is Apb) then (T is Tm)
15. If (R is Rb) and (As is Asm) and (An is Anb) and (Ap is Apm) then (T is Tm)
16. If (R is Rb) and (As is Asm) and (An is Anb) and (Ap is Apb) then (T is Tma)
17. If (R is Rb) and (As is Asb) and (An is Anm) and (Ap is Apm) then (T is Tm)
18. If (R is Rb) and (As is Asb) and (An is Anm) and (Ap is Apb) then (T is Tma)
19. If (R is Rb) and (As is Asb) and (An is Anb) and (Ap is Apm) then (T is Tma)
20. If (R is Rb) and (As is Asb) and (An is Anb) and (Ap is Apb) then (T is Ta)

Ad esempio, considerando le leggi 5 e 10 queste si leggono:

5. If (R is medio) and (As is media) and (An is media) and (Ap is media) then (T is bassa)
10. If (R is medio) and (As is bassa) and (An is media) and (Ap is bassa) then (T is Tm)

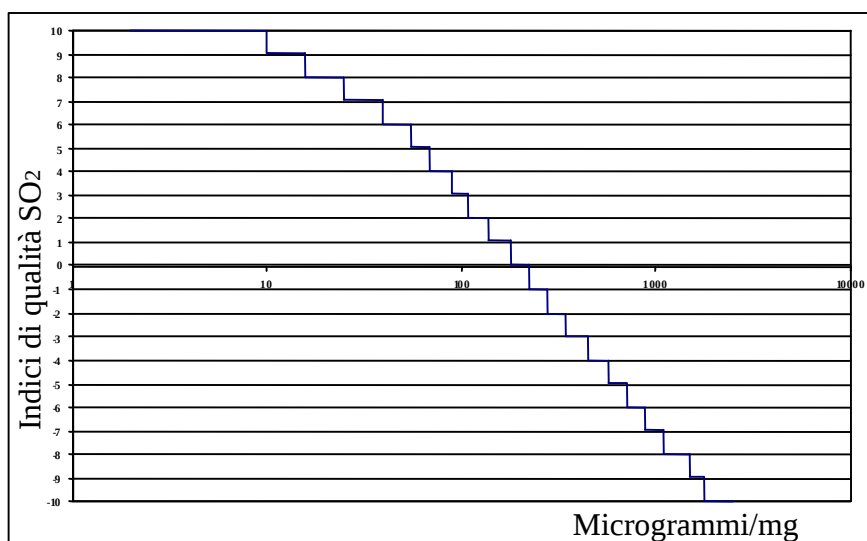


Fig.6 - Indice di qualità dell'aria per l'indicatore concentrazione media di SO2 nell'arco dell'anno

Per la costruzione delle funzioni appartenenza dei quattro parametri del modello si è utilizzato il Metodo Generale. Questo è un metodo consigliato quando si abbia a disposizione la collaborazione di un congruo numero di esperti, ad ognuno dei quali si chiede di definire un range di valori per la grandezza di cui si vuol trovare la funzione di appartenenza. Dopo le

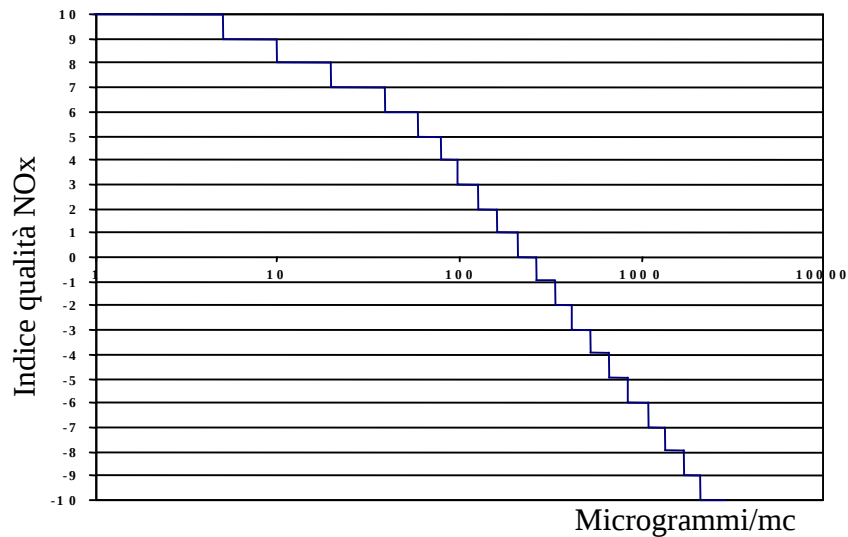


Fig.7 - Indice di qualità dell'aria per l'indicatore concentrazione media di NOx nell'arco dell'anno

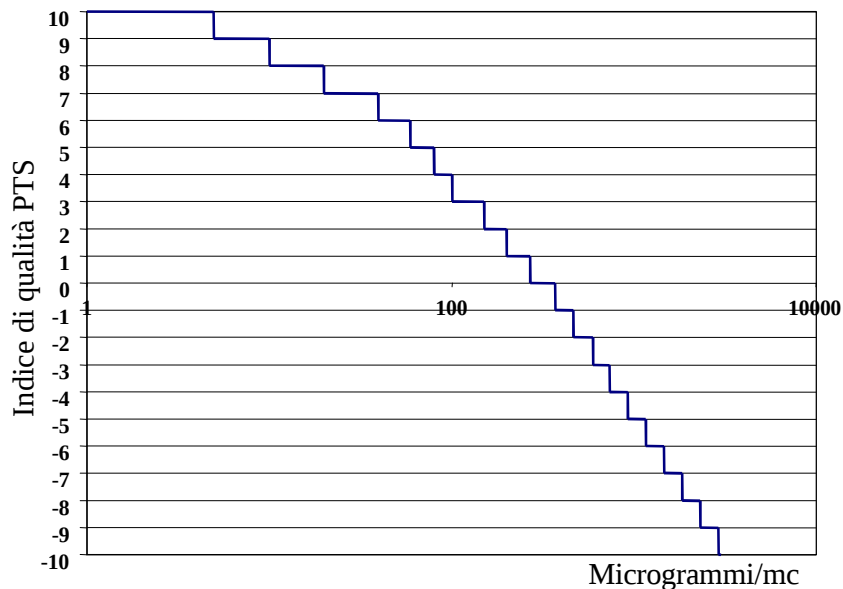
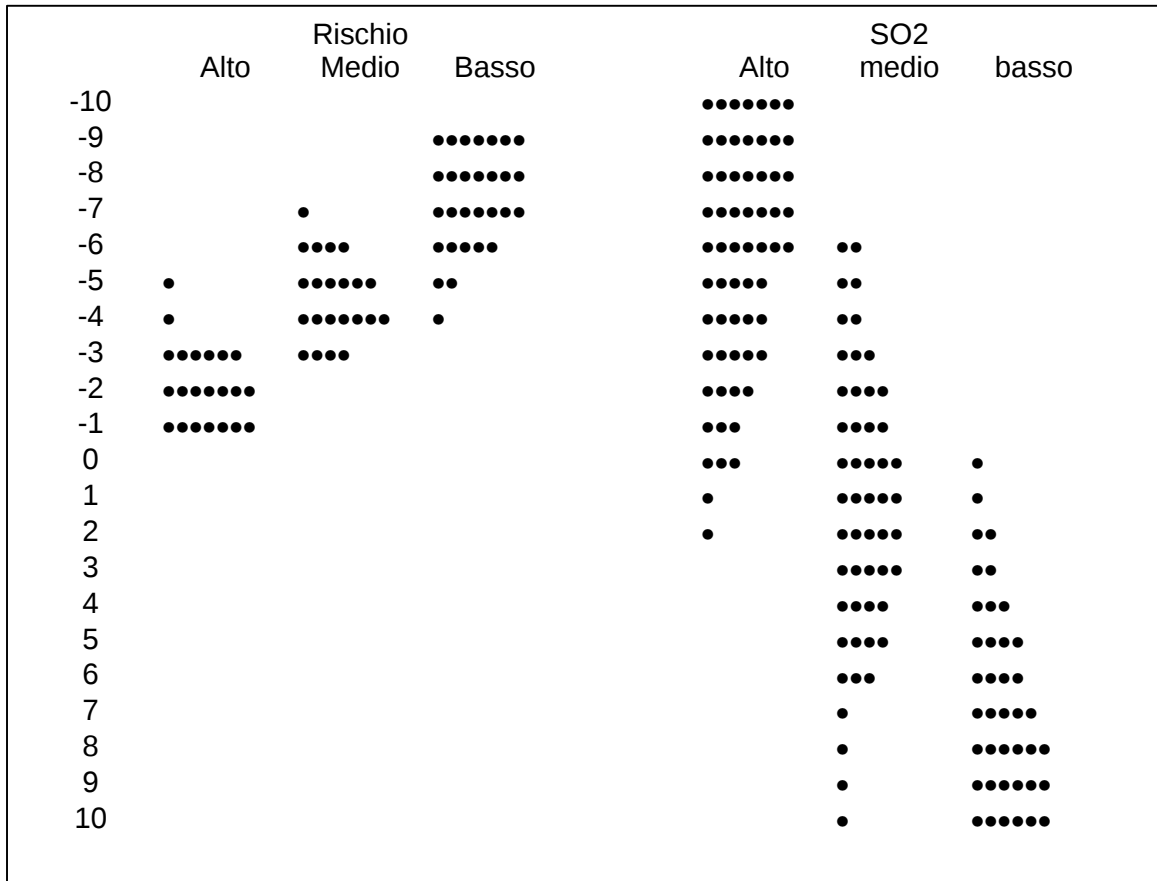


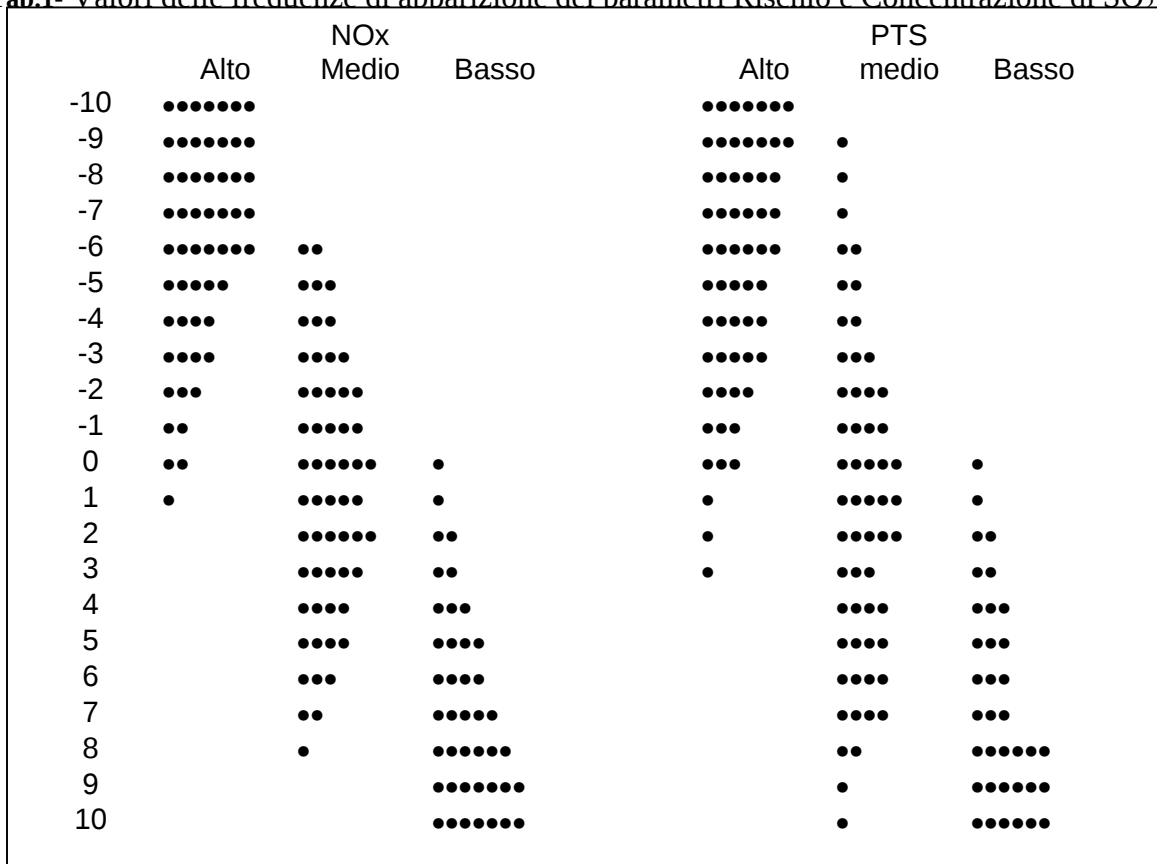
Fig.8 - Indice di qualità dell'aria per l'indicatore concentrazione media su 24 ore di PTS nell'arco dell'anno

interviste si vanno a conteggiare le frequenze di appartenenza (f) con cui si presentano i giudizi dei suddetti esperti riguardo la variabile considerata dopo di che, fissando dei gruppi in cui si suddivide il range totale di interesse, si calcola il valore di frequenza relativa (fr) per ognuno dei suddetti gruppi dividendo il valore di frequenza f per il numero totale di esperti. Per esprimere la loro opinione, gli esperti si sono riferiti alle leggi di scalatura proposte per gli indicatori ambientali scelti per il parametro "atmosfera" (SO_2 , NOx e PTS) [3] mostrate dalle Figg. 6-8.

Le frequenze f di apparizione dei pareri degli esperti sono illustrate nelle seguenti tabelle Per i parametri sotto studio in Tab.1: SO_2 e in Tab.2: NOx e PTS).



Tab.1- Valori delle frequenze di apparizione dei parametri Rischio e Concentrazione di SO₂



Tab.2- Valori delle frequenze di apparizione dei parametri Concentrazione di NOx e Particolato Sospeso

Dividendo i valori della frequenza f per il numero di esperti N (nel presente caso pari a sette), si ottengono i valori della frequenza relativa fr . Immettendoli in un grafico, come mostrato in figg. 9-12, si compie un'interpolazione che rappresenta le funzioni di appartenenza dei parametri del problema (tratteggiate nelle figg. 9-12).

R

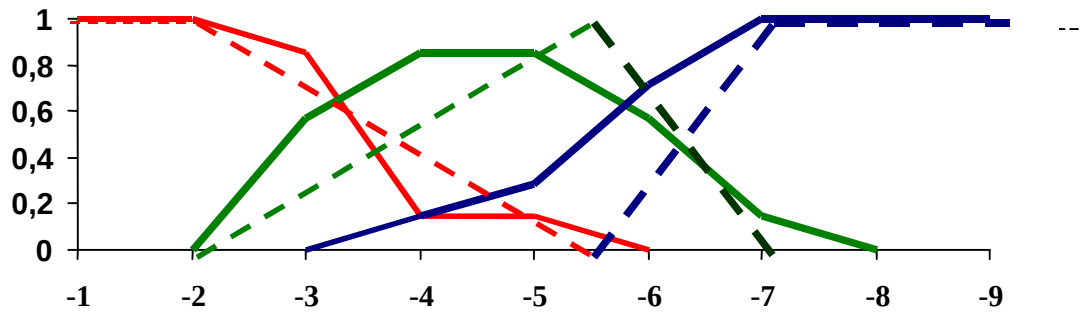


Fig. 9 - Funzione di appartenenza del parametro Rischio

As

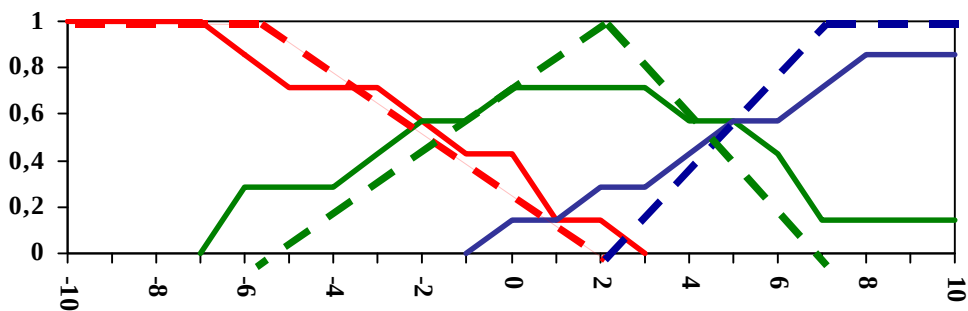


Fig.10 - Funzione di appartenenza del parametro Concentrazione di SO₂

An

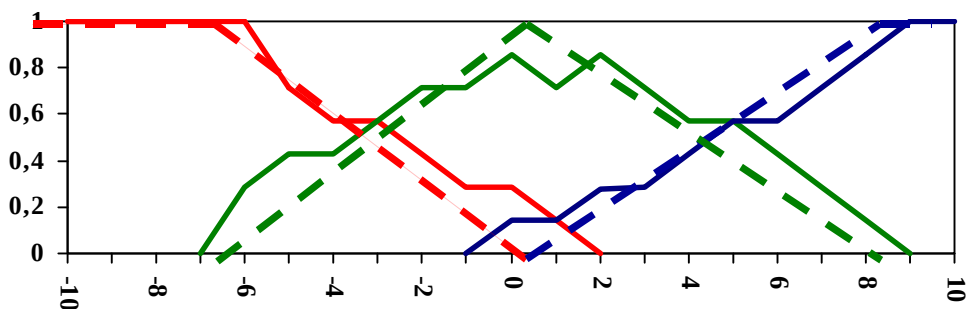


Fig.11 - Funzione di appartenenza del parametro Concentrazione di NO_x

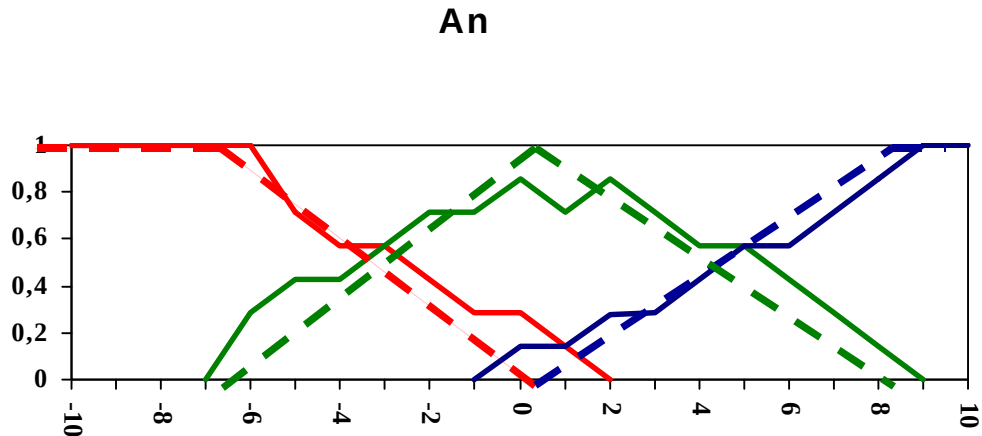


Fig.11 - Funzione di appartenenza del parametro Concentrazione di NOx

Risultati del modello TIACOM

Le funzioni di appartenenza prima descritte rappresentano gli input, assieme alle 20 leggi linguistiche, del modello TIACOM. Tali input sono stati forniti al modulo Fuzzy del MATLAB 5.1 utilizzando come legge di composizione la max-min e come metodo di defuzzificazione il centroide [1] (Vedi anche Appendice).

Il programma fornisce dati i valori dei 4 input (R, As, An e Ap) il valore del TIACOM (T) compreso tra -10 e 10. ovvero è possibile fissando il valore di 3 input seguire l'andamento di TIACOM in funzione del 4° input.

Il modello predice sostanzialmente che la situazione può degenerare ($T < 0$)², anche in caso di rispetto dei parametri e dei limiti imposti dalla legge. Questo accade in quanto è la somma degli effetti al “limite” a provocare l'intollerabilità della situazione che riguarda il territorio considerato. Nello studio generale del TIACOM [7], la scelta dei valori dei parametri variabili si è attuata prendendo indici simili che li descrivessero, cercando di non creare tra loro un divario troppo grande; i valori dei suddetti indici variavano da 0 a 4 rispettivamente, consoni a descrivere la situazione al limite di legge e quella al limite di tollerabilità (con ciò si vuol indicare quella situazione nella quale un miglioramento di uno qualsiasi dei parametri porta ad un sensibile miglioramento della tollerabilità T). Si è notata un'incidenza un po' pronunciata nei confronti della tollerabilità da parte dei parametri rischio e concentrazione di SO₂. Il modello risponde bene anche per quanto riguarda situazioni “sbilanciate”, ovverosia quelle in cui i parametri variabili hanno valori non simili dimostrando una buona inerzia e cautelatività..

In seguito ad una riunione tenutasi presso il DIMNP di Pisa con gli esperti, che avevano partecipato alla stesura delle funzioni di appartenenza, è emerso, come prevedibile, un certo disaccordo sulle funzioni di appartenenza finali ottenute e sul partizionamento (peraltro alla fine approvati dagli astanti) che era derivato dall'elaborazione dei dati di un numero un po' esiguo di esperti (pari, come detto precedentemente, a sette). Di converso sia il criterio scelto per la formulazione delle venti leggi che regolano il modello, sia i risultati dello stesso hanno incontrato un certo consenso in alcuni casi, in altri una congrua soddisfazione.

Per quanto riguarda il rischio si vede dalla Fig. 13 che con tutti gli indici ambientali uguali a 3 non è sufficiente un rischio di 10^{-9} a rendere tollerabile la situazione; la Fig. 14 mostra come un rischio pari a 10^{-4} renda la situazione intollerabile anche con gli indici ambientali a 10.

² Si ricorda che T varia entro l'intervallo $[-10, 10]$ ed il range che indica la tollerabilità dello status di un territorio è $0 < T \leq 10$

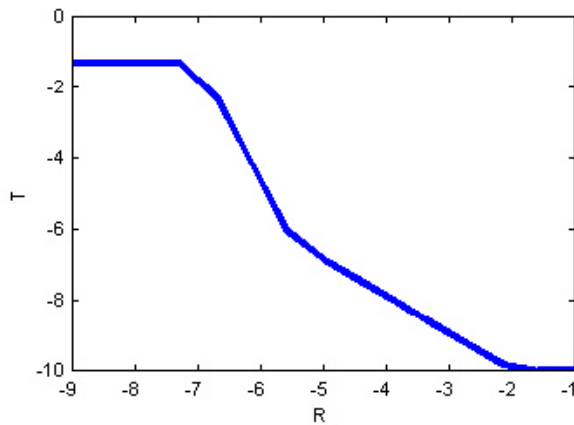


Fig. 13- TIACOM in funzione del Rischio con SO₂, NO_x e PTS fissati a (3,3,3)

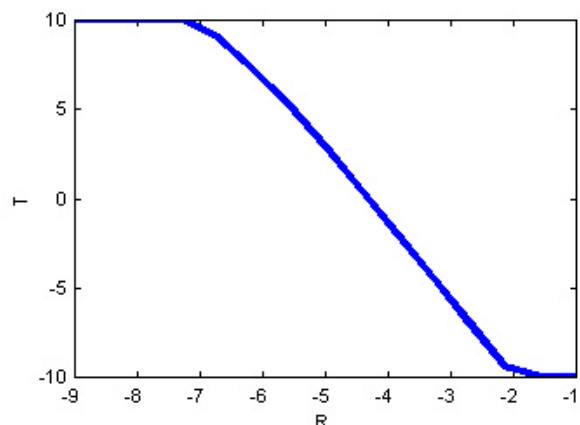


Fig. 14- TIACOM in funzione del Rischio con SO₂, NO_x e PTS fissati a (10,10,10)

Le figg. 15 e 16 mostra il limite di tollerabilità quando si consideri la SO₂, con gli indici per NO_x e PTS 3, 4 (Fig.15) e 4,3 (Fig.16), un peggioramento anche piccolo dell'uno o dell'altro renderebbe la situazione intollerabile. Le figure 17 e 18 mostrano che sussiste la stessa situazione quando si consideri la TIACOM in funzione dei parametri relativi a NO_x e PTS, sempre con un rischio fissato a 10^{-6} .

Dall'analisi di queste figure il modello indica che la situazione in un territorio in cui si sia considerato un rischio industriale pari a 10^{-6} risulta intollerabile se si considerano gli altri indici ai limiti di legge, incomincia a diventare tollerabile quando gli indici ambientali sono fissati ad un valore che è pari alla metà del limite di legge.

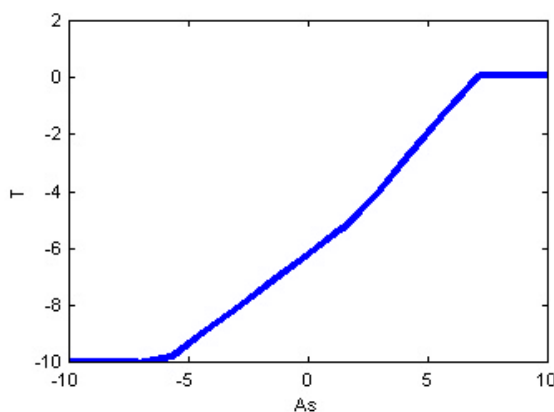


Fig. 15- TIACOM in funzione della SO₂ con il Rischio, NO_x e PTS fissati a (10^{-6} ,3,4)

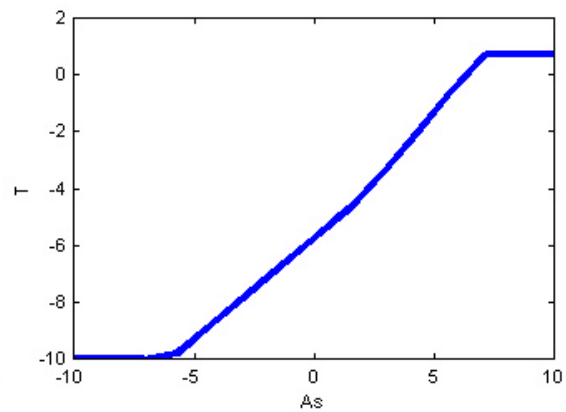


Fig. 16- TIACOM in funzione della SO₂ con il Rischio, NO_x e PTS fissati a (10^{-6} ,4,3)

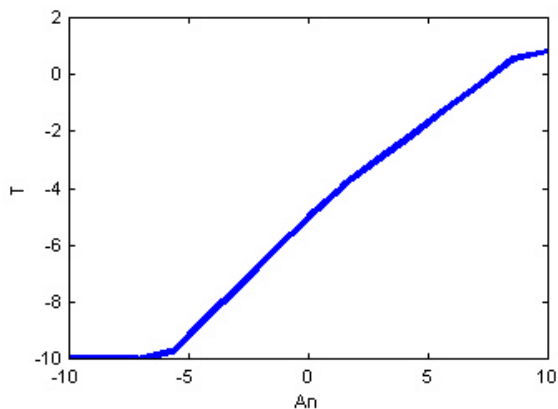


Fig. 17- TIACOM in funzione della NO_x con il Rischio, SO₂ e PTS fissati a (10^{-6} ,4,4)

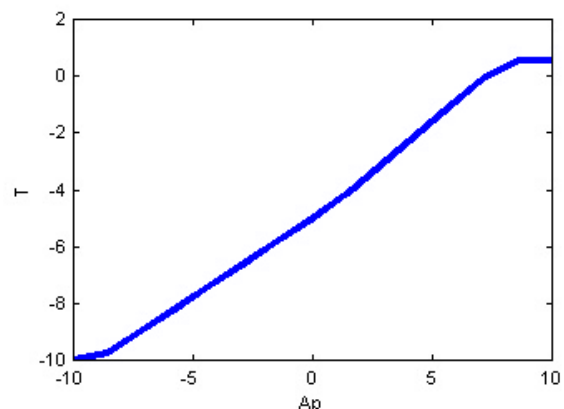


Fig. 18- TIACOM in funzione delle PTS con il Rischio,SO₂ ed NO_x fissati a (10^{-6} ,4,4)

Applicazione del modello TIACOM all'area industriale di Piombino

L'area industriale di Piombino è stata oggetto di analisi sia di rischio industriale che di impatto ambientale. Tale studio è stato finanziato dall'ARPAT ed è stato svolto presso l'Università di Pisa.

In questo contesto si riportano le principali mappe di isorischio locale e di indici di impatto ambientale che sono a tutt'oggi preliminari in quanto lo studio è ancora in corso (Fig.19 Curve isorischio Fig.20 Curve indice PTS).

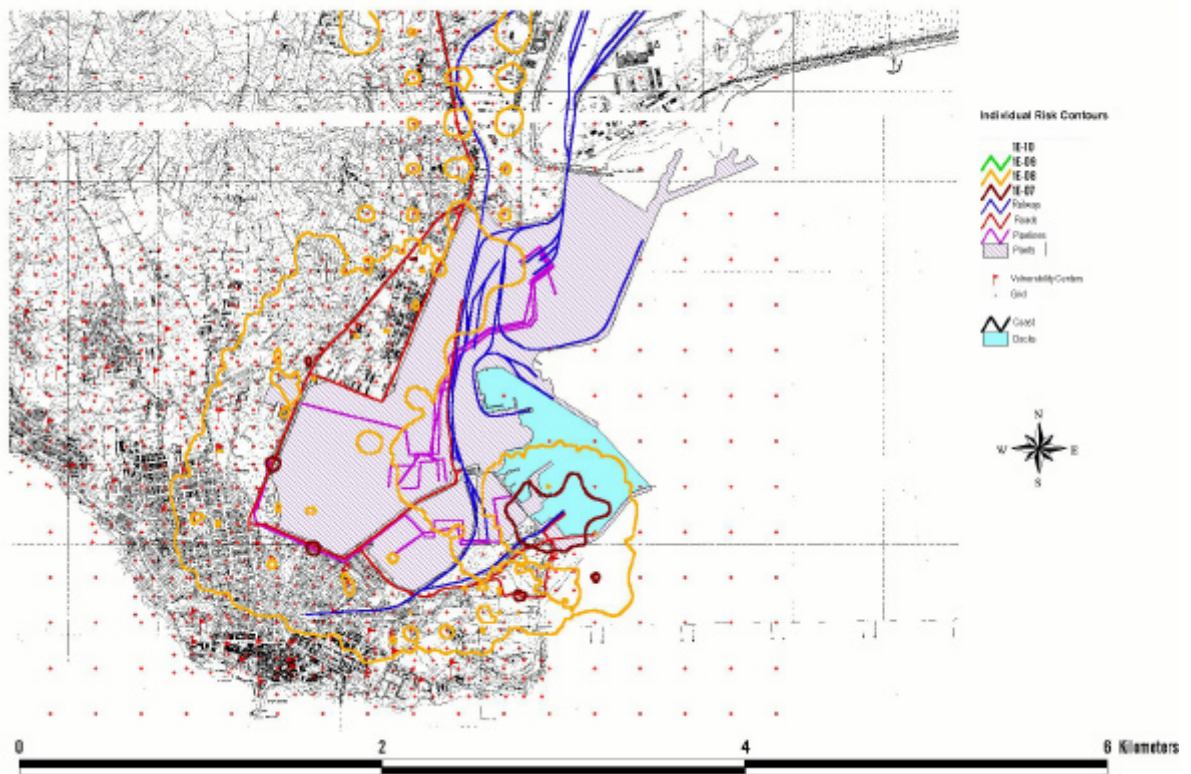


Fig. 19 - Curve di Isorischio locale nell'area di Piombino

La Fig.21 mostra la mappa di TIACOM sul territorio di Piombino.

Nell'analizzare tale risultato bisogna tener presente che non tutti gli indici ambientali sono stati considerati così come non sono stati considerati gli indici derivanti dall'uso del territorio; una volta inseriti tali indici si avrebbe sicuramente una modificazione sia dell'area che del valore della TIA.

Con le precisazioni sopra dette possiamo considerare positivo il metodo di ricomposizione nel senso che riesce ad integrare e visualizzare in maniera efficace in un'unica mappa le informazioni derivanti dalle due analisi separate (industriale e ambientale). In questa applicazione la visibilità del risultato, agli occhi degli esperti, conferma il particolare degrado di cui la TIA da conto; infatti è facile riconoscere come è essenzialmente il rischio industriale a degradare l'area industriale, mentre è il particolato che crea degrado nella parte alta della città di Piombino.

Tale riconoscimento può generare consenso sulle informazioni qualitative del TIA. La variazione di alcuni parametri è facilmente attuabile ed è quindi capace di produrre studi parametrici.

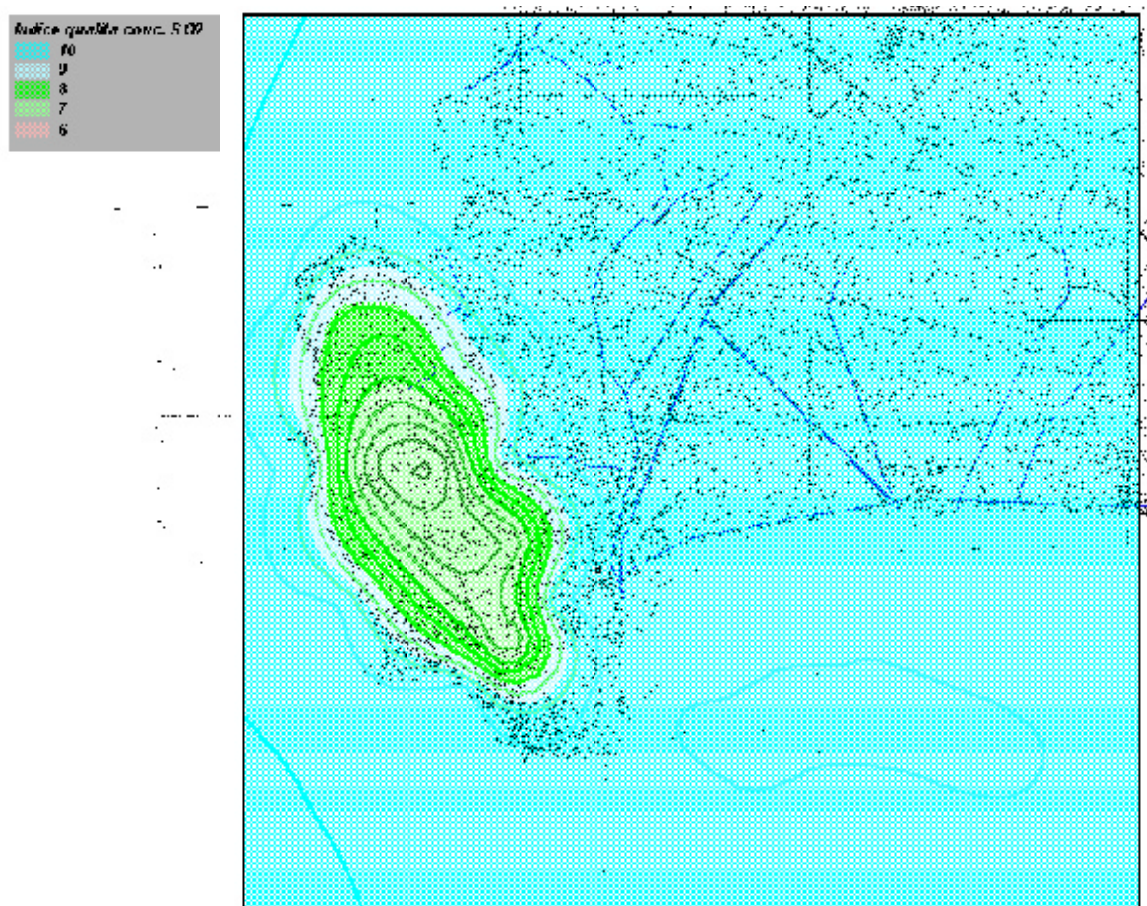


Fig. 20 - Curve Indice PTS nell'area di Piombino

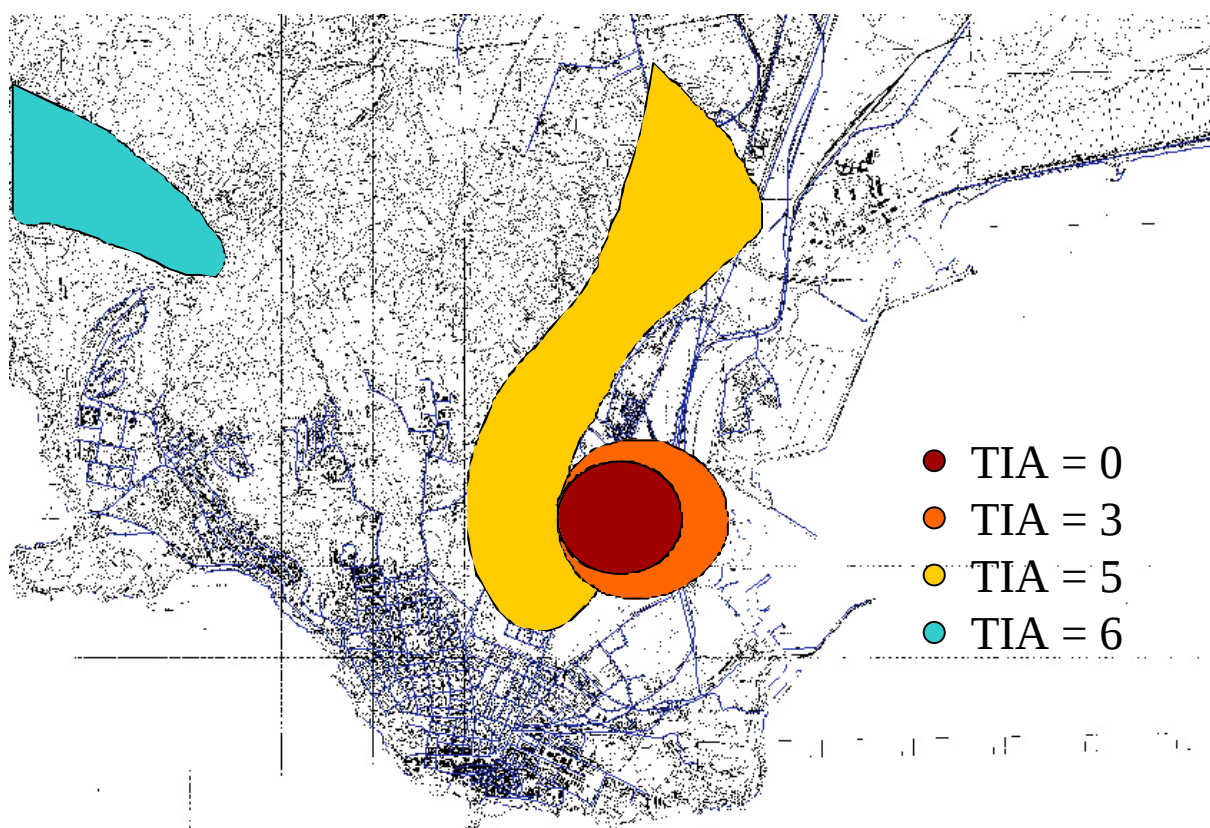


Fig. 21 - Mappa di TIACOM nell'area di Piombino

Conclusioni

La definizione di uno strumento decisionale obiettivo che riesca a trattare efficacemente problemi che includano parametri soggettivi è, da sempre, l'obiettivo di molte ricerche nel tentativo di arrivare alla soluzione di problemi complessi.

Il risultato del modello della TIA, affrontato in questo lavoro, è un esempio delle potenzialità che la teoria offre su problemi quali la ricomposizione del rischio industriale con quello ambientale; da una riunione tenutasi nel DIMNP con esperti del ramo è emerso un diffuso consenso sia sulla metodologia in se stessa che sui risultati ottenuti.

Una possibile evoluzione del modello TIACOM potrebbe essere individuata nell'estensione del numero di parametri che descrivono la condizione ambientale del territorio e le caratteristiche del territorio stesso (flora e fauna, arte e storia, etc.). Una tale analisi potrebbe essere realizzata ascoltando i pareri di un numero maggiore di esperti a competenza specialistica, a secondo dei parametri caratterizzanti considerati. Infine, per quanto concerne i parametri del problema, si potrebbe differenziarne l'importanza gerarchizzandoli.

Altre possibili applicazioni nel campo della sicurezza industriale e protezione ambientale potrebbero interessare i modelli di vulnerabilità: un modello Fuzzy che faccia le veci delle funzioni di Probit potrebbe dare dei risultati migliori da un punto di vista della precisione. Infatti i dati usati per costruire le funzioni di Probit costituiscono una buona base statistica da elaborare con una metodologia Fuzzy. Le tecniche Fuzzy possono essere applicate anche a problemi, quali la valutazione delle conseguenze delle esplosioni, attualmente trattati con modelli empirici e formule ad hoc. L'esperienza accumulata empiricamente su tali argomenti può essere utilizzata da uno dei metodi Fuzzy.

Bibliografia

- [1]. T. J. Ross, "Fuzzy logic with engineering applications", McGraw-Hill, Inc., New York, 1995.
- [2]. G. J. Klir, T. A. Folger, "Fuzzy sets, Uncertainty and Information" Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988
- [3]. M. Angelelli, S. Strinati, R. Bovalini, I. Ciucci, M. Mazzini, "STUDIO SUGLI SQUILIBRI AMBIENTALI NELL'AREA DI PIOMBINO" Università di Pisa Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione (in corso di pubblicazione).
- [4]. S.R. Kumara, R.L. Kashyap, and A.L. Soyster, "Artificial intelligence and manufacturing: an introduction. In: Artificial intelligence: manufacturing theory and practice." Institute of Industrial Engineers, Norcross, GA, 1989.
- [5]. A. Badiru, "Expert systems application in engineering and manufacturing." Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1992.
- [6]. A. S. Benjamin, N. N. Brown, T. L. Paez, "Dynamic Modeling Of Physical Phenomena for PRAs Using Neural Networks", Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico, USA
- [7]. G.M. Cerchiara, "Applicazione della Logica Fuzzy al Rischio Industriale ed Ambientale" Tesi di laurea in Ingegneria Nucleare – AA 1998-1999 – Università di Pisa

**“RICOMPOSIZIONE DEL RISCHIO INDUSTRIALE ED AMBIENTALE
ATTRAVERSO UNA APPLICAZIONE DELLA LOGICA FUZZY”**

APPENDICE

PRINCIPALI PRINCIPI E RELAZIONI DELLA LOGICA FUZZY

UTILIZZATI PER IL MODELLO DI RICOMPOSIZIONE

DEL RISCHIO INDUSTRIALE ED AMBIENTALE

M.N. CARCASSI

Vengono qui riassunte le principali relazioni della logica Fuzzy utilizzate nella formulazione del modello. Si rimanda alla Bibliografia per una esaustiva trattazione.

1.1 Insiemi classici ed insiemi Fuzzy.

La funzione di appartenenza ad un insieme classico A di un generico elemento x_i con $i=1,2,\dots,n$, proveniente da un universo di elementi X è definita come segue:

$$c_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \notin A \\ 1 & \text{se } x \in A \end{cases} \quad 1.1$$

Come si vede un elemento x appartiene o no all'insieme su definito in maniera netta e binaria cosa che non accade per gli elementi degli insiemi Fuzzy. Per chiarezza l'insieme Fuzzy è indicato con la notazione $\underline{A}$ per differenziarlo da quello classico A ; si definisce per il primo la seguente funzione d'appartenenza:

$$m_{\underline{A}}(x) = f(x) \quad \text{con} \quad f(x) \in [0,1] \quad 1.2$$

Essendo $f(x)$ una qualunque funzione continua definita nell'intervallo $[0,1]$.

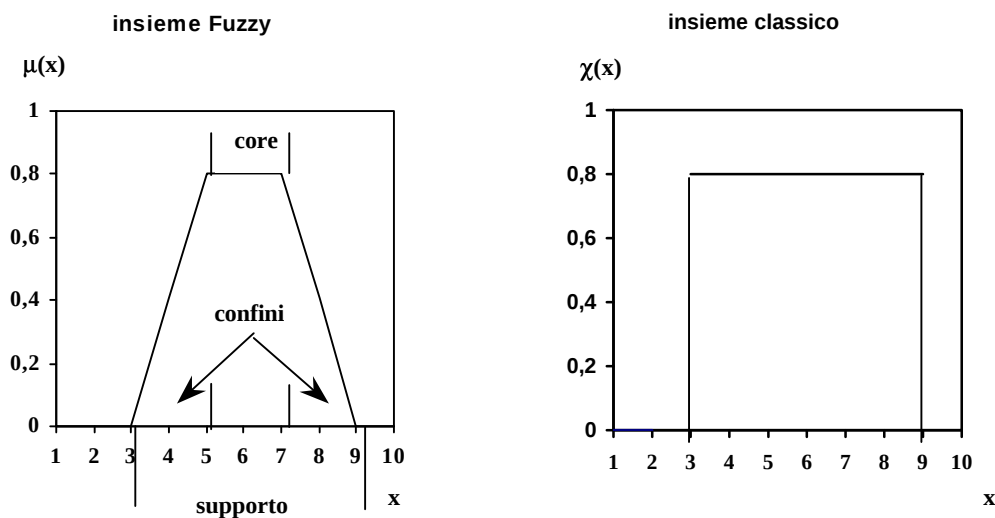


Fig. 1.1

Le curve che ricoprono bene il ruolo di funzioni d'appartenenza sono, come si può ben capire, innumerevoli, da semplici rette a gaussiane, fino a sigmoidi: la scelta è molto ampia; tutto sta nella decisione iniziale che l'esperto compie in base al problema che si trova a dover risolvere. Nel presente ambito s'è fatta la scelta di descrivere mediante rette l'appartenenza dei vari elementi ai rispettivi insiemi. Il motivo di questa scelta risiede nel fatto che l'andamento rettilineo, in tutte le applicazioni, dà comunque dei risultati più che soddisfacenti e che forme particolari, che non siano né triangolari, né trapezoidali, sono utilizzate con buoni risultati solo in casi specifici, nei quali l'esperienza dell'esperto ne consigli l'uso in sostituzione delle funzioni lineari.

Quando si ha a che fare con entità che possono essere descritte in maniera soggettiva e quindi imprecisa, si possono usare più insiemi Fuzzy per evidenziarne le varie caratteristiche, nel gergo l'entità viene "partizionata".

Si prenda, ad esempio, la temperatura dell'acqua come entità da descrivere; soggettivamente intorno a 23°C l'acqua è tiepida, intorno ai 27°C è calda, mentre intorno ai 19°C è fresca, qualcuno potrebbe obiettare, ma i valori che suggerirebbe non sarebbero molto distanti dai suddetti. Per rappresentare ciò, si può disegnare per primo l'insieme Fuzzy $\underline{C}$ riferito all'acqua calda:

analogamente si può procedere a definire gli insiemi $\underline{F}$ e $\underline{T_p}$ rispettivamente per l'acqua fredda e tiepida, alla fine il partizionamento potrà essere rappresentato nella seguente maniera:

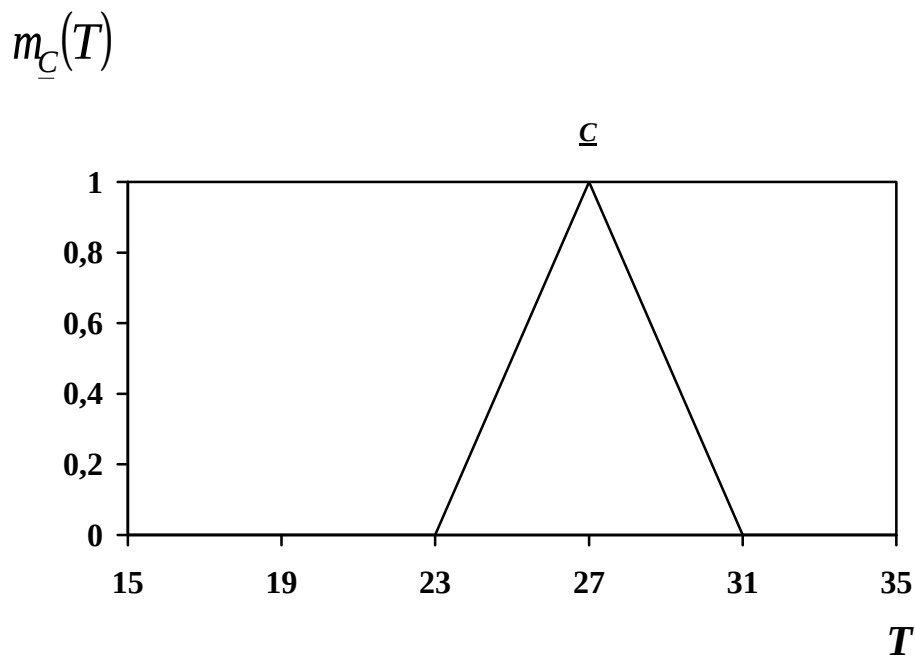


Fig. 1.3-Insieme Fuzzy $\underline{C}$ riferito all'acqua "calda"

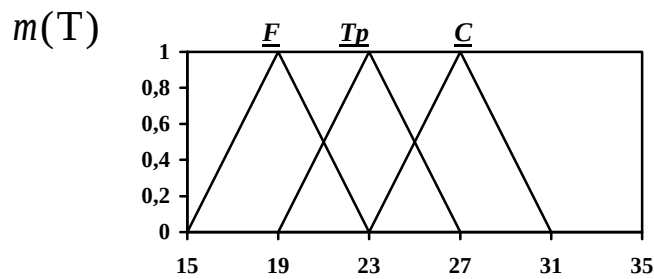


Fig.1.4-Esempio di partizionamento

T

La tecnica appena applicata deriva direttamente dall'esperienza ed è la prima e più spontanea, quando si debba descrivere una qualsiasi entità (come ad esempio la tipologia di un solido, la temperatura dell'acqua oppure l'età di una persona). Di queste tecniche ne esistono di più tipi, come sarà illustrato più avanti, e sono utili particolarmente per caratterizzare i parametri del problema.

Paralleli tra insiemi classici ed insiemi Fuzzy.

Per gli insiemi Fuzzy valgono sia tutte le operazioni definite per quelli classici (unione, intersezione, complemento e differenza) che tutte le proprietà sulle suddette operazioni (commutatività, distributività, associatività, transitività, identità ed idempotenza). Per gli insiemi Fuzzy non valgono le leggi dei terzi esclusi, definendo con X l'universo di elementi considerato si ha:

$$\underline{A} \cup \overline{\underline{A}} \neq X$$

$$\underline{A} \cap \overline{\underline{A}} \neq \emptyset$$

Come è illustrato dalle figg. 1.5-1.9, né l'unione né l'intersezione di un insieme Fuzzy col suo complementare da rispettivamente l'intero universo di definizione e l'insieme vuoto.

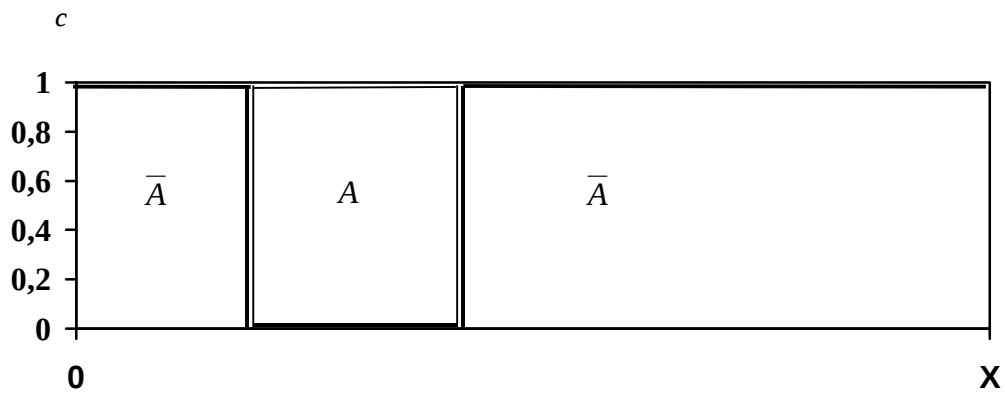


Fig. 1.5-Insieme classico A e suo complementare

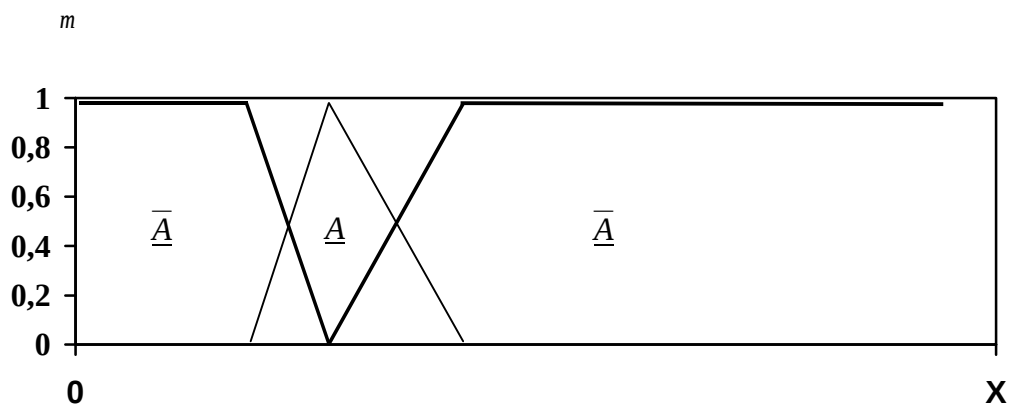


Fig. 1.6-Insieme Fuzzy $\underline{A}$ e suo complementare

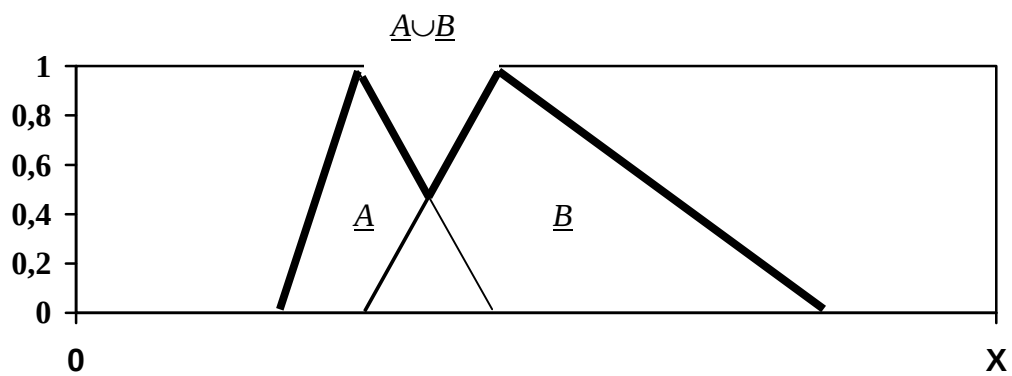


Fig. 1.7-Insieme Fuzzy $\underline{A \cup B}$

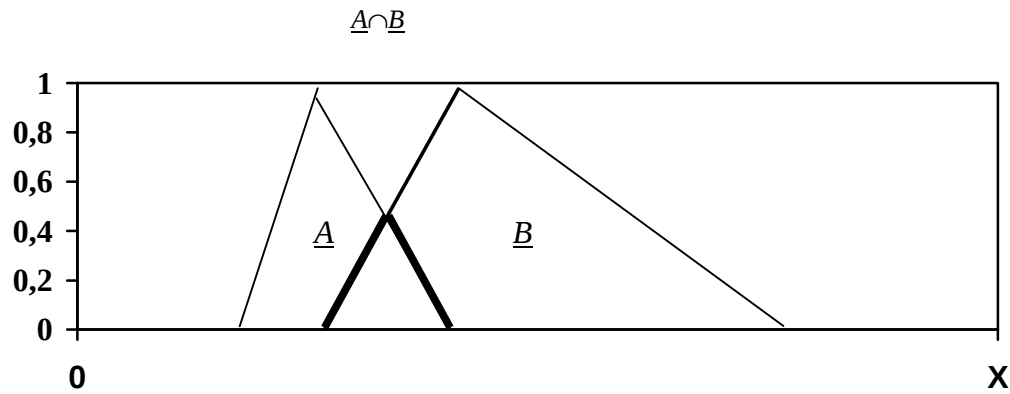


Fig. 1.8-Insieme Fuzzy $\underline{A \cap B}$

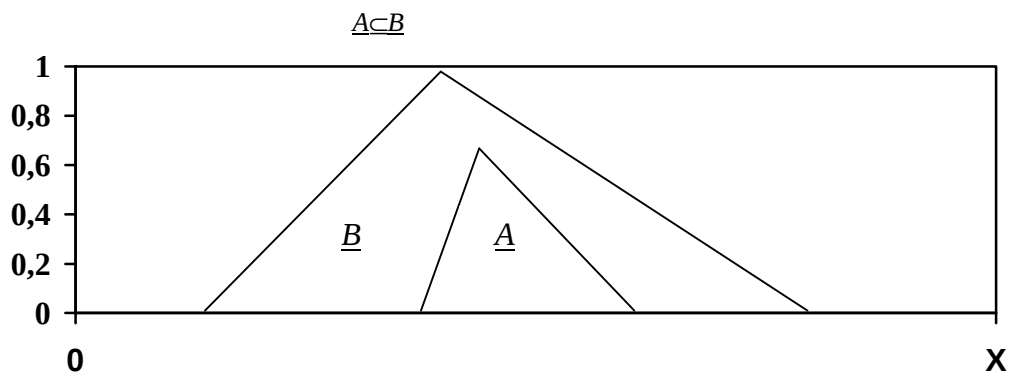


Fig. 1.9-Insieme Fuzzy $\underline{A \subseteq B}$

Per capire meglio come la teoria Fuzzy si evolva partendo da quella classica, nonché i paralleli che esistono tra operazioni insiemistiche di unione e intersezione ed operazioni logiche denominate di and e or, si consideri il seguente esempio.

In ambito di sicurezza industriale, si abbia una tubazione composta da quattro parti collegate tra loro da tre giunti a flangia. A_1 rappresenti il fallimento del giunto uno, così A_2 ed A_3 quelli dei giunti due e tre. La perdita da parte della tubazione del fluido in essa contenuto sarà causata dal fallimento di uno qualsiasi dei tre giunti, fermo restando ritenere idealmente impossibile una perdita che si verifichi altrove nella tubazione (logica serie). Il fallimento della tenuta della tubazione si esprime, in termini insiemistici, con la relazione

$$A_1 \cup A_2 \cup A_3$$

La sua affidabilità con De Morgan risulta:

$$\overline{A_1 \cup A_2 \cup A_3} = \overline{A_1} \cap \overline{A_2} \cap \overline{A_3} \quad 1.4$$

La probabilità che un evento X accada entro un intervallo di tempo T è come si sa:

$$P_x(T) = \int_0^T f(t) dt \quad 1.5$$

con $f(t)$ funzione di distribuzione di probabilità. Nel caso della tubazione in esame definendo, λ il rateo di guasto dei giunti, con dimensioni $[s^{-1}]$ e con andamento temporale qualitativo quello di fig.1.10

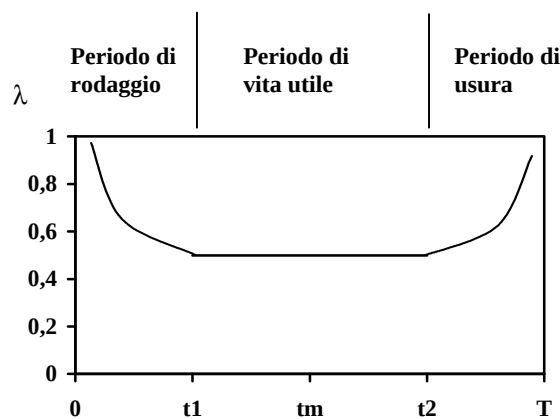


Fig. 1.10

considerando un numero di giunti N_0 che operano tra il tempo t_1 e t_2 (vita utile del giunto), al tempo t con $t_1 < t < t_2$, il numero di giunti sopravvissuti sarà:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad 1.6$$

con λ costante nel periodo di vita utile del pezzo considerato.

Così la tubazione è affidabile se “il giunto 1 è affidabile ed il giunto due è affidabile ed il giunto tre è affidabile”. Se A_1 indica, come detto, il suo fallimento e $\overline{A_1}$, quindi, la sua affidabilità, ecco che l’operazione di intersezione $\cap$ dell’equazione 1.4 esprime la catena di *and* su riportata; così la tubazione è inaffidabile se è tale “il giunto 1 o lo è il giunto 2 o il giunto 3”, la catena di *or* che definisce questo concetto è espresso dall’operazione $\cup$ di unione nella 1.3.

E’ intuitivo che, preso un elemento di un insieme classico che può avere grado di appartenenza o zero od uno vale, per l’operazione di unione la seguente relazione:

$$A \cup B \rightarrow c_{A \cup B}(x) = c_A(x) \vee c_B(x) = \max [c_A(x), c_B(x)]$$

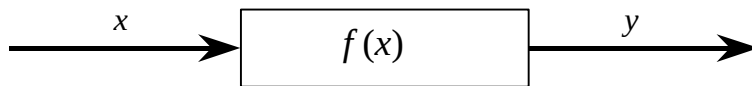
Un elemento dell'insieme $A \cup B$ è un elemento di A o di B .

Infatti se l'elemento x appartiene ad A ma non a B si avrà $A \cup B = \max [c_A(x), c_B(x)] = \max [0,1] = 1$. Viceversa si otterrà lo stesso risultato, nel caso in cui x appartiene sia ad A che a B si avrà $\max [1,1] = 1$ quindi apparterrà anche ad $A \cup B$, solo nel caso in cui non appartenga a nessuno dei due insiemi considerati ($A \cup B = \max [0,0] = 0$) si avrà la non appartenenza dell'elemento all'insieme unione. Lo stesso tipo di ragionamento si può fare per operazione di intersezione ottenendo:

$$A \cap B \rightarrow c_{A \cap B}(x) = c_A(x) \wedge c_B(x) = \min [c_A(x), c_B(x)]$$

Un elemento dell'insieme $A \cap B$ deve essere un elemento di A e di B .

Il principio di estensione.



E si considera un problema del tipo $y = f(x)$ si può scrivere, facendo riferimento ai paralleli prima esposti, la funzione di appartenenza in termini Fuzzy [1]:

$$B = f(A) = \{ y \mid \forall x \in A \rightarrow y = f(x) \}$$

$$m_{\underline{B}}(y) = m_{f(\underline{A})}(y) = \bigvee_{y=f(x)} m_{\underline{A}}(x)$$

Se il problema è del tipo $y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ si avrà:

$$\underline{B} = f(\underline{A}_1, \underline{A}_2, \dots, \underline{A}_k)$$

$$m_{\underline{B}}(y) = \max \{ \min [m_{\underline{A}_1}(x_1), m_{\underline{A}_2}(x_2), \dots, m_{\underline{A}_k}(x_k)] \}$$

La su scritta relazione è chiamata anche principio di estensione e verrà utilizzata come legge di composizione (legge di composizione max-min) nel modello TIA trattato.

Per meglio comprendere il significato della legge di composizione max-min si consideri il grado di appartenenza come una forza di tensione; per una catena composta da n anelli la resistenza dipenderà dall'anello più debole (resisterà fintanto che non cederà l'anello più debole). Per un insieme di catene poste in parallelo, la resistenza dipenderà dal più forte tra gli anelli deboli (max-min) resistendo fintanto che non ceda l'ultimo dei deboli (il più forte tra i deboli).

Il modello di logica Fuzzy a variabili linguistiche.

Si abbia un problema multi-input ad un solo output, considerati i parametri del problema come input del modello e la grandezza incognita come il suo output, si procede a rappresentare le suddette quantità mediante insiemi Fuzzy. Fare questo significa identificare la funzione di appartenenza riferita all'insieme oppure ad un suo partizionamento. Esistono varie tecniche utili allo scopo, quella usata in questa sede per la TIA è il cosiddetto metodo generale che verrà esposto in seguito. Fuzzificati i parametri del problema e il suo output, un modello a variabili linguistiche prevede la stesura di costrutti linguistici del tipo:

IF parametro1-alto AND parametro2-medio THEN output-alto

che l'esperto che realizza il modello scrive sulla base di dati statistici e della sua esperienza.

La Teoria prevede che, mentre il numero totale di scelte s che si ha a disposizione per l'individuazione delle leggi è dato dalla seguente relazione:

$$s = \prod_{i=1}^N p_i$$

con p_i la partizione (vedi fig. 1.4) dell'iesimo parametro ed N numero totale di parametri del problema, il numero di leggi necessario r è :

$$r \ll s$$

Ciò Significa scegliere un numero totale di leggi pari a circa uno o due ordini di grandezza in meno del numero delle scelte s ; questo vale tanto di più quanto maggiore è il numero s .

Una volta fissate le leggi (costrutti logico-linguistici) queste vengono elaborate dalla legge di composizione scelta, che nei modelli trattati è la già vista legge max-min.

Esiste una tecnica che permette di applicare graficamente una legge di composizione ai costrutti linguistici del modello, il metodo in questione è denominato tecnica di inferenza grafica e sarà di seguito descritto per un problema a due input ed un output come descrive la sotto stante figura:

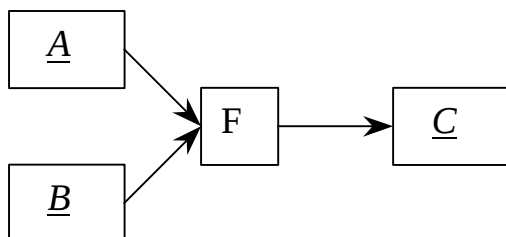


Fig.1.11

 = gruppo di leggi linguistiche del modello.

S indichino con $\underline{A}_1$, $\underline{A}_2$ ed $\underline{B}_1$, $\underline{C}_1$ rispettivamente il primo e secondo insieme di partizionamento di $\underline{A}$ ed il primo di $\underline{B}$ ($x \in \underline{A} \subset X$, $y \in \underline{B} \subset Y$) che sono gli input del sistema, $\underline{C}_1$ il primo di $\underline{C}$, output del sistema considerato ($z \in \underline{C} \subset Z$) (vedi figg. 1.12-1.14):

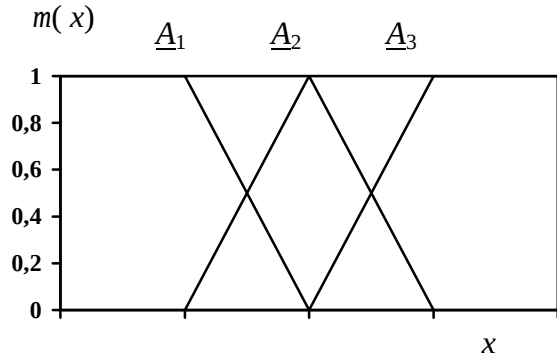


Fig. 1.12

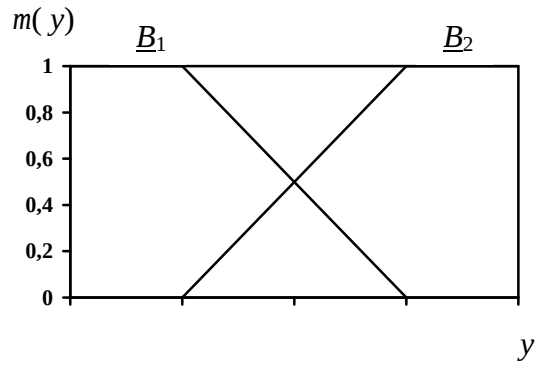


Fig. 1.13

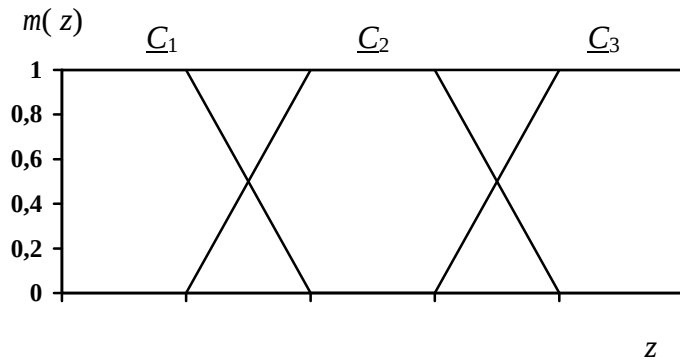


Fig. 1.14

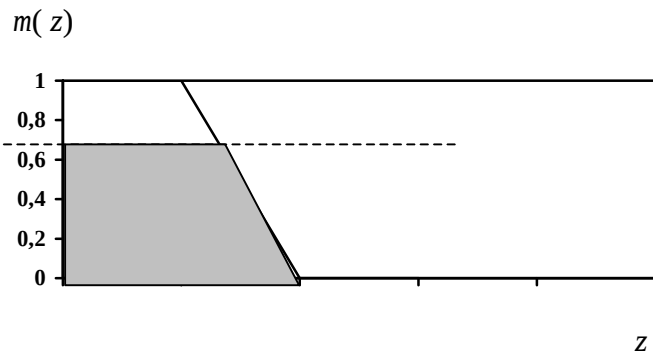
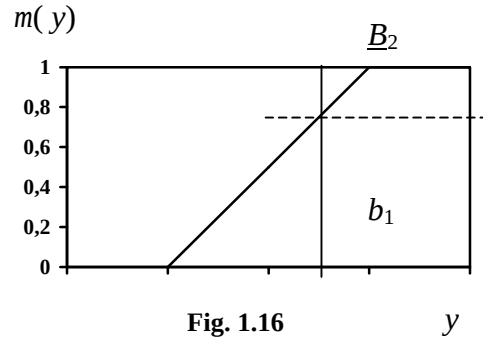
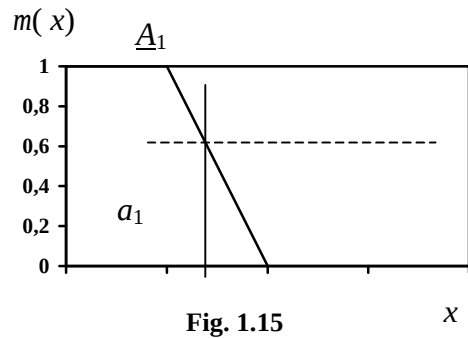
$$m_{\underline{C}k}(y) = \max\{\min[m_{\underline{A}i}(x), m_{\underline{B}j}(x)]\} \quad 1.7$$

Legge (1) IF a IS a_1 (in $\underline{A}_1$) AND b IS b_1 (in $\underline{B}_2$) THEN c IS $\underline{C}_1$; 1.8

Legge (2) IF a IS a_2 (in $\underline{A}_2$) AND b IS b_2 (in $\underline{B}_2$) THEN c IS $\underline{C}_2$; 1.9

Graficamente, considerando le figg. 1.12, 1.14 si ha:

Legge (1)



Si è preso l'output minimo tra quelli che davano a_1 e b_1 come prescritto dalla 1.7. Analogamente si procede con la seconda legge (1.9):

Legge (2)

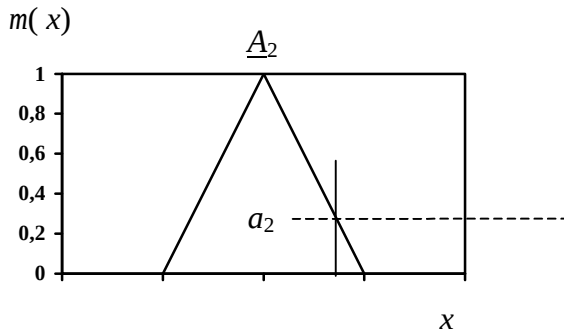


Fig. 1.18

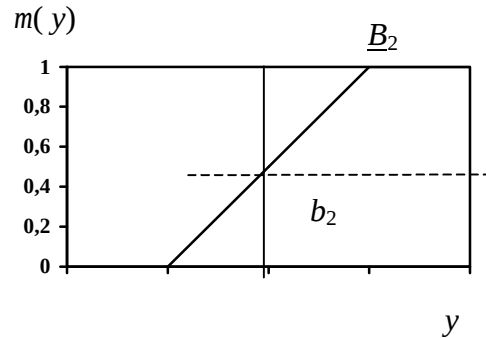


Fig. 1.19

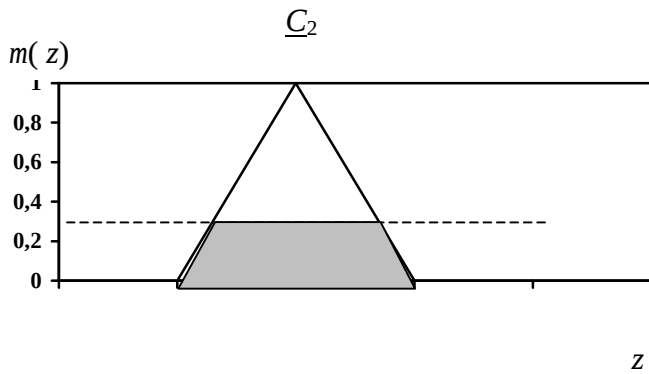


Fig. 1.20

Alla fine, per la legge di composizione si farà il max (l'unione) dei min calcolati graficamente ottenendo:

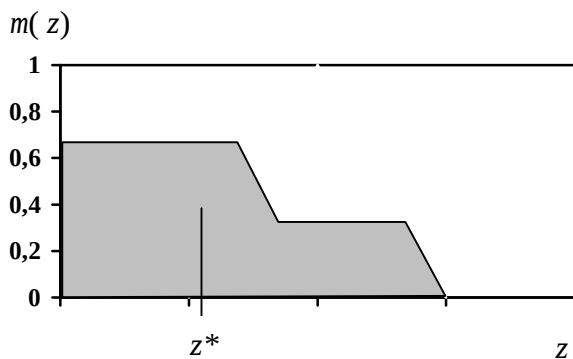


Fig. 1.21

$$z^* = \frac{\int z m_{\underline{A}}(z) dz}{\int m_{\underline{A}}(z) dz} \quad 1.10$$

Il valore di z^* è stato ottenuto mediante il metodo di defuzzificazione del centroide che da un insieme fuzzy permette di individuare un valore numerico per la variabile considerata descritta dall'insieme secondo la 1.10.