

VALUTAZIONE DEL RISCHIO D'INFORTUNIO ATTRAVERSO UN MODELLO DI ANALISI BASATO SULLA LOGICA FUZZY

S.Murè, N.Piccinini & M. Demichela
SAfeR- Centro Studi su Sicurezza, Affidabilità e Rischi
Dip. Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica, Politecnico di Torino
Corso Duca degli Abruzzi, 24, 10129 Torino, Italy
e-mail: salvina.mure@polito.it

SOMMARIO

Questo articolo presenta un modello per la valutazione del rischio d'infornio basato sulla *Logica Fuzzy*. Lo scopo di questa ricerca è stato di costruire uno strumento metodologico per identificare “*a priori*” le misure preventive e/o protettive più efficaci, al fine di ridurre il rischio d'infornio nelle attività industriali e di cantiere. Il metodo sviluppato si basa sulla seguente funzione:

$$R = f(F, S, E, L)$$

dove F è la frequenza di accadimento dell'evento, S è la gravità del possibile danno, E è il fattore di contatto, L è la mancanza di misure protettive e R è il rischio. La *Logica Fuzzy* costituisce un ottimo strumento di analisi per questo tipo di applicazione, poiché permette di elaborare informazioni qualitative e incerte, come lo sono quelle relative agli infortuni sul lavoro e da cui dipende la funzione del rischio d'infornio, e nello stesso tempo di associare i diversi fattori caratterizzanti un infortunio. Tuttavia, si osservi come per risolvere un problema mediante la *Logica Fuzzy* occorre disporre di informazioni complete e omogenee, in modo da istruire correttamente il software (Fuzzy toolbox Matlab® 6.5) e ottimizzare (tuning) i parametri di riferimento.

1. PREMESSA

In un non recente manuale sulla sicurezza si trova questa definizione:

“Il rischio è una condizione che in potenza può causare infortunio alle persone, danno agli impianti o alle strutture, perdita di materiale o diminuzione della capacità di svolgere una funzione prestabilita. Quando un rischio è presente, esiste la possibilità che si verifichino questi effetti negativi” [1].

Si può anche concordare con questa definizione, ma essa è sicuramente poco pratica per estrarne indicazioni operative; infatti da essa ne deriva come il rischio, al pari della *bellezza*, risulti essere un concetto soggettivo e, come tale, non misurabile.

La non quantificazione del rischio tecnico ha diverse conseguenze negative:

- I giudizi sull'entità del rischio sono fortemente soggettivi, in quanto non derivano da una seria analisi scientifica.
- Le decisioni prese da Autorità politiche o da Direzioni aziendali in merito alla accettabilità di rischi connessi con attività industriali non sono ancorate a concreti elementi di giudizio e quindi possono non essere le migliori.
- I confronti tra i rischi connessi a impianti diversi o a settori produttivi diversi sono praticamente impossibili.
- Gli interventi operati sugli impianti per migliorarne l'affidabilità (o per diminuirne i rischi) derivano spesso più dall'intuizione e dalla pur rispettabile esperienza dei progettisti che non da una razionale e oggettiva valutazione tecnica [2].

L'esigenza di effettuare valutazioni quantitative dei rischi è più che evidente da quanto sopraddetto, ma perché queste analisi, spesso lunghe e complesse, dovrebbero essere effettuate anche negli ambienti di lavoro?

In primo luogo perché è un obbligo di legge; infatti il primo comma dell'art.3 del D.Lgs. 626/94 al punto a) recita:

- Le misure generali per la protezione della salute e per la sicurezza dei lavoratori sono:*
 - valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza.*

L'obiezione immediata è: qui si parla di “valutazione dei rischi” non di “valutazione quantitativa dei rischi”. E' vero, c'è una bella differenza tra le due espressioni, però se il citato punto a) non è inteso nell'eccezione della “valutazione quantitativa” non è possibile intervenire con coerenza per ottemperare ai successivi punti b) ÷ e):

- b) *eliminazione dei rischi in relazione alle conseguenze acquisite in base al progresso tecnico e, ove ciò non sia possibile, loro riduzione al minimo;*
- c) *riduzione dei rischi alla fonte;*
- d) *programmazione della prevenzione mirando a un complesso che integri in modo coerente nella prevenzione le condizioni tecniche produttive e organizzative dell'azienda nonché l'influenza dei fattori dell'ambiente di lavoro;*
- e) *sostituzione di ciò che è pericoloso con ciò che non lo è, o è meno pericoloso.*

Gli eventi incidentali talvolta molto gravi occorsi sia nell'industria chimica, che in quella nucleare, hanno mostrato come la rigida applicazione di norme tecniche, anche estremamente dettagliate, non garantisca il raggiungimento di livelli di sicurezza adeguati e soprattutto il loro mantenimento nel tempo. Questi invece possono solo essere garantiti da uno sforzo costante di verifica sulle apparecchiature e sulle loro modalità di gestione ponendo in essere tutti gli accorgimenti o modifiche necessari. Tale azione di verifica può essere proficua solo se gli obiettivi da raggiungere sono ben definiti e se è valutabile, cioè misurabile, lo scarto eventuale.

Si intuisce come progettare, realizzare o gestire un impianto in modo tale che il suo rischio rientri e sia mantenuto entro limiti tollerabili comportamenti:

- a) decidere che cosa si intende per *obiettivo tollerabile di rischio* (da cui la necessità di *quantificare* la sua entità);
- b) avere la possibilità di confrontare con sistematicità lo stato e l'evoluzione del sistema con obiettivi di *riferimento*, proposti entro i termini dell'*obiettivo generale tollerabile di rischio*.

In sintesi, il frutto di un'Analisi dei Rischi è la possibilità di *decidere* come operare, al fine di mantenere il sistema entro margini di rischio prestabiliti. Poiché *decidere* significa *scegliere in presenza di incertezze (in assenza di incertezza e, quindi, di alternative possibili non si hanno decisioni, cioè scelte, ma solo constatazioni)* e la misura di un'incertezza è la *probabilità*, si comprende come il rischio sia una grandezza che è funzionalmente correlata alla probabilità di accadimento dell'evento indesiderato. Inoltre, la decisione non può prescindere dall'entità (*magnitudo*) della conseguenza che da tale evento può derivare [3].

2. LO SCOPO DEL LAVORO

Lo studio prende spunto dalla considerazione che la complessità tecnologica, il numero di infortuni sul lavoro ancora molto elevato in Italia [4] in ogni settore produttivo, l'ampliamento dei compiti e delle figure responsabili nate intorno alle Direttive Comunitarie, rendono certamente auspicabile un ulteriore sforzo volto a favorire la migliore diffusione delle informazioni relative:

- alle problematiche connesse con la prevenzione infortuni nei vari comparti industriali e di cantiere, al fine di focalizzare l'attenzione e le risorse su obiettivi prioritari;
- alle soluzioni tecniche, organizzative o procedurali che il progresso della conoscenza rende via via disponibili per far fronte ai detti problemi.

Come noto, l'attività di prevenzione degli infortuni trova sostanziale supporto nell'opera di analisi dei casi avvenuti; pertanto, partendo proprio dalle registrazioni degli infortuni, lo scopo di questa ricerca è stato quello di definire uno strumento metodologico per identificare "*a priori*" le misure preventive e protettive più idonee, capaci di ridurre il rischio d'infortunio in un determinato contesto lavorativo. Nell'ambito di questa ricerca è emersa la carenza delle attuali procedure per catalogare gli infortuni; prioritariamente quindi è stata messa a punto una modulistica per la registrazione degli infortuni in modo da consentire la ricostruzione appropriata della dinamica incidentale. Solo in questo modo è infatti possibile recuperare, mediante interviste direttamente in reparto ai lavoratori infortunati, le dovute informazioni ai fini di una corretta valutazione dei rischi ai fini preventivi.

La prima applicazione di questo modello in fase del tutto sperimentale, riguardante un cantiere per le lavorazioni in sotterraneo [5], ha permesso di convalidarlo, pertanto si è continuata la ricerca con lo scopo di migliorare le prestazioni di tale modello e di verificarne l'applicabilità anche al comparto industriale. Nel seguito, per meglio illustrare la versatilità del modello, se ne riporterà un'applicazione concreta; in particolare saranno mostrati i risultati riguardanti la valutazione del rischio d'infortunio presso uno stabilimento di un'industria italiana produttrice di pneumatici.

3. I VANTAGGI DELLA LOGICA FUZZY

Una prevenzione infortuni efficace è possibile solo attraverso uno studio approfondito delle dinamiche infortunistiche. A tal fine è indispensabile disporre di uno strumento che permetta di associare funzionalmente i diversi fattori caratterizzanti un infortunio. Si è individuato nella *Logica Fuzzy* lo strumento

adatto per questo tipo di applicazione. Questa tecnica fa parte dei sistemi decisionali basati su regole del tipo "if...then...else", o più semplicemente di quei sistemi basati sulla *conoscenza* (Knowledge Based Processing) [6]. La base di conoscenza di un *Sistema Fuzzy* è una banca dati da cui è possibile attingere le relazioni funzionali tra i dati raccolti, queste essendo intese come associazioni di conseguenze determinate da particolari condizioni di ipotesi. I *Sistemi Fuzzy* elaborano informazioni qualitative, imprecise e perfino contraddittorie. Essi si rivelano particolarmente utili nella soluzione di problemi complessi [7] che, pur non formalizzabili in algoritmi precisi, possono tuttavia essere descritti qualitativamente, con espressioni linguistiche. Tuttavia, per il significato dei risultati stessi, le informazioni elaborate da un Sistema Fuzzy devono essere complete e omogenee. L'applicazione della *logica fuzzy* nella valutazione del rischio infortunistico permette quindi di associare parametri di natura diversa (il fattore di stress, il tempo di esposizione, la frequenza di accadimento, ecc.) e di analizzare il danno risultante dalla loro interazione. Pertanto, questo tipo di approccio è già stato applicato con risultati soddisfacenti per valutare l'errore umano negli infortuni navali tramite un modello previsionale istruito con circa 200 registrazioni infortuni avvenuti nel periodo 1994-2002 presso la costa livornese [8]. Analogamente è stato sviluppato un modello per quantificare il rischio d'infortunio dovuto all'esposizione dei lavoratori a traumi ripetuti riguardanti gli arti superiori, noti comunemente con l'acronimo CTD (Cumulative Trauma Disorders) [9]. In entrambe le applicazioni citate il risultato finale consiste in una valutazione semiquantitativa del rischio infortunistico al variare dell'incidenza dei parametri influenti sul rischio stesso, al fine di fornire all'analista uno strumento decisionale.

4. DESCRIZIONE DEL METODO

La risoluzione di un problema mediante la *logica fuzzy* [10] può essere scomposta nelle seguenti operazioni:

- Definizione degli *insiemi fuzzy* delle variabili d'ingresso con quelle in uscita (fuzzificazione)
- Definizione delle regole che correlano le variabili di ingresso con quelle in uscita
- Aggregazione dei contributi delle regole
- Defuzzificazione dei risultati

Si osservi inoltre come la risoluzione numerica di un *problema fuzzy* richieda l'utilizzo di un software che l'analista dovrà istruire con i dati a sua disposizione e in base alla propria esperienza, deducendo le regole che definiscono il problema mediante la tecnica della *clusterizzazione* [11]. Questa, per esempio, consente di rappresentare e ordinare gli infortuni in base ai differenti fattori d'interesse quali la dinamica dell'incidente, la sede della lesione e così via. Gli infortuni con elementi comuni costituiscono un insieme da cui si estrae poi un *cluster*, vale a dire l'elemento rappresentativo dell'insieme; ogni *cluster* rappresenta una regola. Questa tecnica consente di ben risolvere il problema quando questo è bidimensionale, come nel caso che si illustrerà nel seguito. A tal fine si è utilizzato il Fuzzy Toolbox di Matlab 6.5.

4.1 La Funzione di rischio

Il rischio R è definito anche come "la *dimensione prevedibile delle conseguenze di un evento dannoso*", è espresso comunemente dalla relazione:

$$R = f(F, M) \quad (1)$$

dove:

- F è la *frequenza di accadimento dell'evento*, [Infortuni/giorno]
- M è il *danno probabile derivante dall'evento*, [Morti, feriti, danni economici]

Il danno derivante da un evento infortunistico è solitamente espresso come:

$$M = f(E, S) \quad (2)$$

dove:

- E è il *fattore di contatto*, [frazione del turno di lavoro]
- S è la *gravità o l'entità del possibile danno*, [prognosi: giorni di assenza dal lavoro].

In particolare, nel seguito M sarà valutato come giorni di assenza dal lavoro.

La valutazione del rischio che si propone nell'ambito di questa ricerca tiene anche conto delle misure protettive esistenti tramite una variabile indipendente L, per cui l'espressione del rischio d'infortunio che ne risulta è:

$$R = f(S, F, L, E) \quad (3)$$

che, con il semplice legame funzionale AND, diventa:

$$R = S * F * L * E \quad (4)$$

Questo tipo di approccio consente di evidenziare e quantificare il peso di ciascuna variabile, per cui, qualora il rischio risulti non tollerabile, è immediato verificare come i singoli fattori agiscano per una riduzione dello stesso. Ad esempio, un intervento di tipo preventivo si tradurrà in una variazione del parametro F o del parametro E, mentre un intervento di tipo protettivo inciderà rispettivamente sia sul parametro S sia sul parametro L.

4.2 La fuzzificazione delle variabili

Come visto nel paragrafo precedente il problema è caratterizzato da cinque variabili F, S, E, L, R. La fuzzificazione delle variabili consiste nell'associare a ciascuna di esse degli *insiemi fuzzy* rappresentati da una variabile linguistica. Ciascuno di questi insiemi è a sua volta rappresentato da una funzione, detta *funzione di appartenenza*, cioè da una funzione che associa ad ogni punto di un insieme un numero reale nell'intervallo [0,1], la cui forma può essere di tipo triangolare, trapezoidale, gaussiana, ecc [12]. La scelta del tipo di funzione dipende dalla quantità e dalla omogeneità dei dati a disposizione e, ovviamente, influisce sull'accuratezza dei risultati. A titolo esemplificativo, nella Figura 1 è rappresentata la variabile "Gravità" e i suoi *insiemi fuzzy* descritti da funzioni di appartenenza trapezoidali:

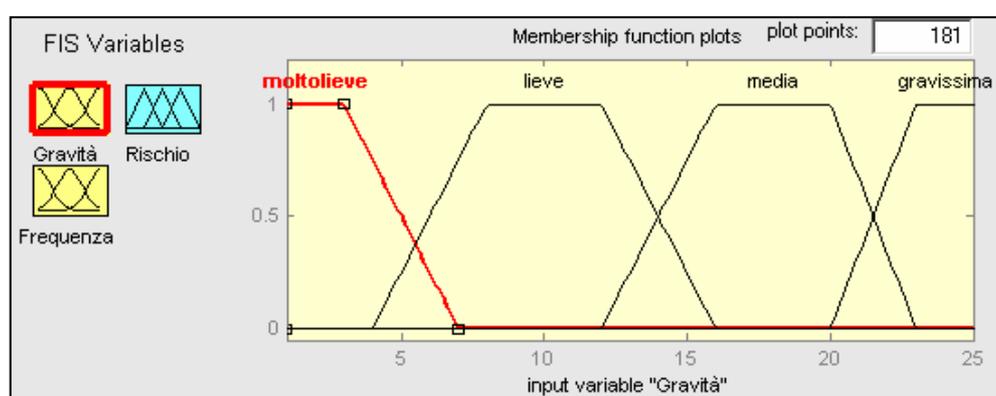


Figura 1-Funzioni di appartenenza della variabile "Gravità".

Nel caso in oggetto, gli insiemi fuzzy che rappresentano le variabili del sistema si costruiscono in base alle registrazioni infortuni raccolte. Per quanto riguarda lo stabilimento presso il quale è stato condotto lo studio, si sono analizzati 290 infortuni sui 373 occorsi nel triennio aprile 2000- marzo 2003, perché non su tutti fu possibile recuperare le informazioni necessarie.

La tipologia di quelli registrati nel Reparto Confezioni sono riportati nella Tab.1.

Tabella 1-Dati infortuni nel Reparto Confezioni (2000÷2003).

Tipologia	Complessivi nel triennio	Valore medio per giorno
Sforzo fisico a carico del sistema muscolo-scheletrico	53	0.09
Incastramento, schiacciamento fra, sotto, in, contro	49	0.08
Contatto con agente materiale tagliente, duro, abrasivo, caldo, ecc.	20	0.03
Altra tipologia	6	0.01
Totale	128	0.21

L'ultima colonna della Tab.1 è stata ricavata ipotizzando che il numero di giorni lavorativi in un anno sia pari a 200.

Nel seguito si riporta l'approccio utilizzato per lo studio dedicato agli infortuni dovuti alla scorretta movimentazione manuale dei carichi e quindi allo *sforzo fisico a carico del sistema muscolo-scheletrico*.

L'intervallo di variazione della *frequenza di accadimento F* è l'insieme reale [0,0.1], poiché la dinamica infortunistica più frequente (ved. Tab.1) ha una frequenza giornaliera pari a 0.09; pertanto sul suddetto intervallo sono stati distribuiti quattro sottoinsiemi *fuzzy* di tipo trapezoidale.

Per quanto riguarda invece la *gravità S*, visto che gli infortuni hanno provocato esclusivamente inabilità temporanea, i quattro insiemi fuzzy si sono distribuiti su una scala che va da 1 a 30, poiché dai casi storico è emerso che il numero massimo di giorni di assenza dal lavoro è pari a 25.

Nella Tab.2, sono riportati gli insiemi *fuzzy*, le corrispondenti variabili linguistiche e i corrispondenti interventi suggeriti.

Tabella 2-Fuzzy sets.

Frequenza di accadimento [Infortuni/giorno]	Gravità [Giorni]	Rischio [Infortuni]	Interventi proposti
Remota 0-0.03	Molto lieve 1-7	Basso 0-0.8	Rischio tollerabile: nessuno intervento
Bassa 0.02-0.05	Lieve 4-16	Medio 0.8-1.2	Rischio moderatamente non tollerabile: interventi di media entità
Media 0.04-0.07	Media 12-23	Alto 1.2-2.2	Rischio non tollerabile: interventi consistenti
Alta 0.06-0.1	Grave 20-30	Altissimo 2.2-3	Rischio decisamente intollerabile: interventi urgenti e consistenti

Si noti come nella fuzzificazione delle variabili, e di conseguenza nell'espressione di valutazione del rischio, non compaiano le variabili E e L. Difatti, nel caso specifico, il parametro E non è una variabile, ma una costante, poiché il tempo di esposizione di un lavoratore al rischio d'infortunio nel reparto Confezioni coincide sempre con la durata del turno ($E = 8$ ore), per cui E non è fuzzificabile. La variabile L invece, che rappresenta le misure protettive, non è applicabile nel reparto analizzato, poiché per l'operazione di movimentazione delle bobine di materiale, quali *sollevare, spingere, tirare, ecc.*, non è prevista alcuna misura protettiva individuale. Ad ogni insieme fuzzy di cui alla Tab.2 è stata associata una funzione di appartenenza di tipo trapezoidale i cui dettagli sono riportati nelle Figure 1-3:

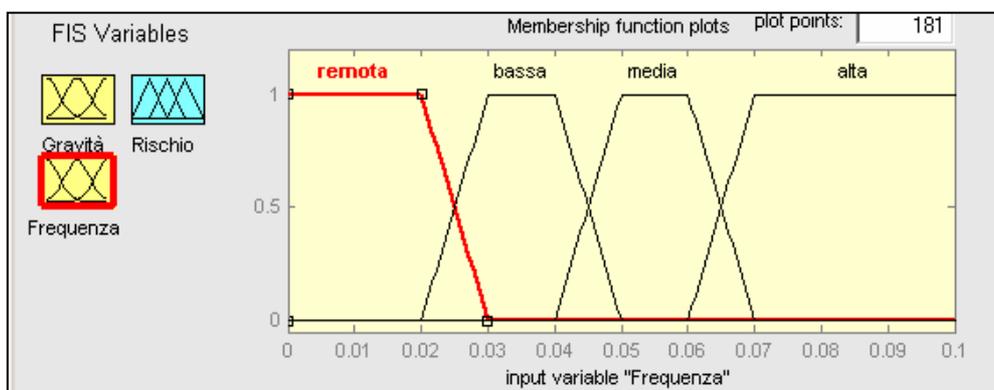


Figura 2 -Funzioni di appartenenza della variabile “Frequenza”.

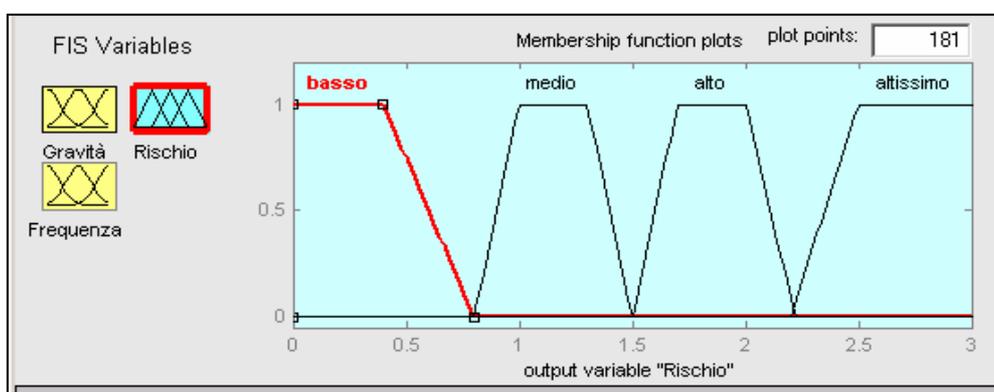


Figura 3 -Funzioni di appartenenza della variabile “Rischio”.

4.3 Le Regole fuzzy

Le regole fuzzy rappresentano le correlazioni logiche tra le variabili di input con quelle di output; esse si deducono dai dati storici o dall'esperienza degli operatori. Le regole fuzzy sono del tipo decisionale "If...Then", vale a dire la conseguenza si verifica solo se la premessa è vera; pertanto se un evento dannoso attiva gli enunciati delle premesse, si otterranno inevitabilmente anche le conseguenze.

Visto il tipo di funzione definita per esprimere il rischio d'infortunio, le correlazioni tra le variabili sono *And* logici. Nel caso in oggetto il numero di regole che definiscono questo problema è: $4*4=16$. Difatti l'individuazione di 4 tipologie di cause d'infortunio per il reparto considerato ha permesso di utilizzare un modello con solo 16 regole che si ritiene possano sufficientemente bene rappresentare le dinamiche infortunistiche registrate (ved. Fig.4).

Esempio di regola:

If (F è Remota) And (S è Lieve) Then (R è Basso)

La conseguenza "R è Basso" deriva dall'attivazione contemporanea dei due enunciati che costituiscono la premessa e significa che l'operazione considerata è da controllare, ma non sono richiesti interventi migliorativi. Con questo approccio una stessa dinamica infortunistica può essere descritta da più regole, quindi il risultato finale sarà dato dall'aggregazione dei contributi di ciascuna regola.

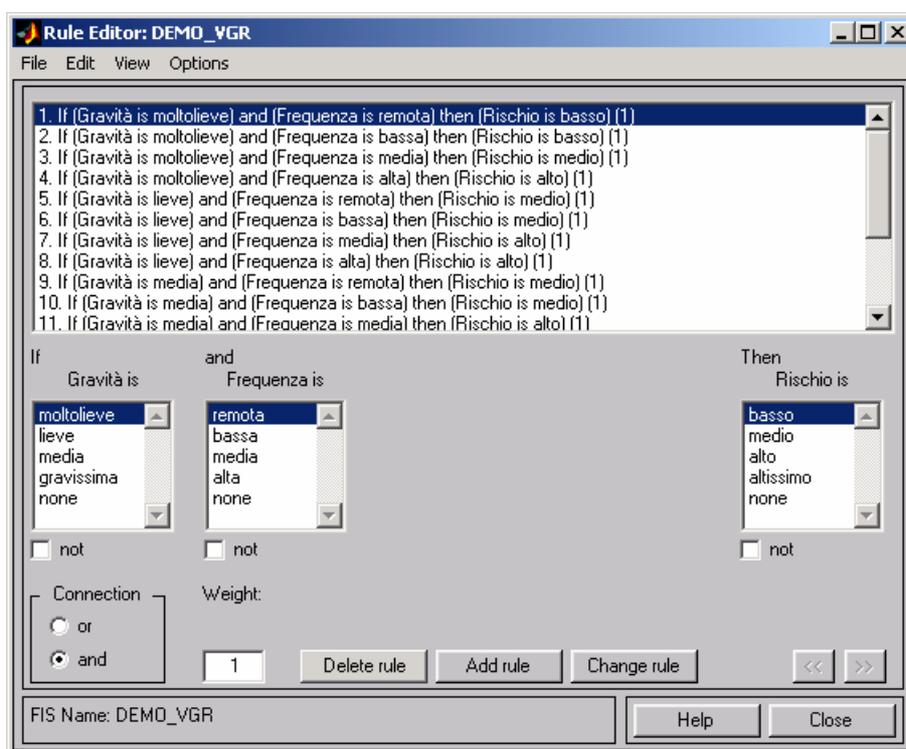


Figura 4-Interfaccia grafica con parte delle regole.

5. RISULTATI

Nella Figura 5, a titolo esemplificativo, è riportato un primo risultato riguardante uno specifico infortunio del reparto confezioni del tipo: "Sforzo fisico a carico del sistema muscolo-scheletrico"; in questo caso si ha la frequenza di accadimento $F=0.08$ e gravità $S=5$, per cui il rischio corrispondente risulta essere $R=1.86$. Si ricade quindi nella condizione di rischio "Alto", pertanto è necessario intervenire in maniera consistente per ridurre il rischio. Trattandosi di un infortunio legato alla movimentazione manuale dei carichi una prima ed efficace misura preventiva potrebbe essere l'uso di *attrezzi agevolatori* che aiutino il lavoratore nella movimentazione delle bobine; il risultato atteso è una riduzione di F e quindi di R . Se si esaminano più nel dettaglio i dati, emerge una periodicità d'infortunio, vale a dire che uno stesso lavoratore, già vittima di un infortunio da sforzo, con cadenza quasi semestrale sarà verosimilmente vittima di un altro infortunio con la medesima causa e con la stessa dinamica. Come mai? La risposta risiede nella constatazione, emersa dalle indagini svolte, che i lavoratori non solo non sono correttamente formati sulla movimentazione manuale dei carichi, ma anche, a fronte di un infortunio già occorso, mantengano un livello di attenzione

momentaneamente aumentato, solo per una breve durata; ovvero che si esaurisce presto, man mano che il lavoratore supera l'effetto infortunio.

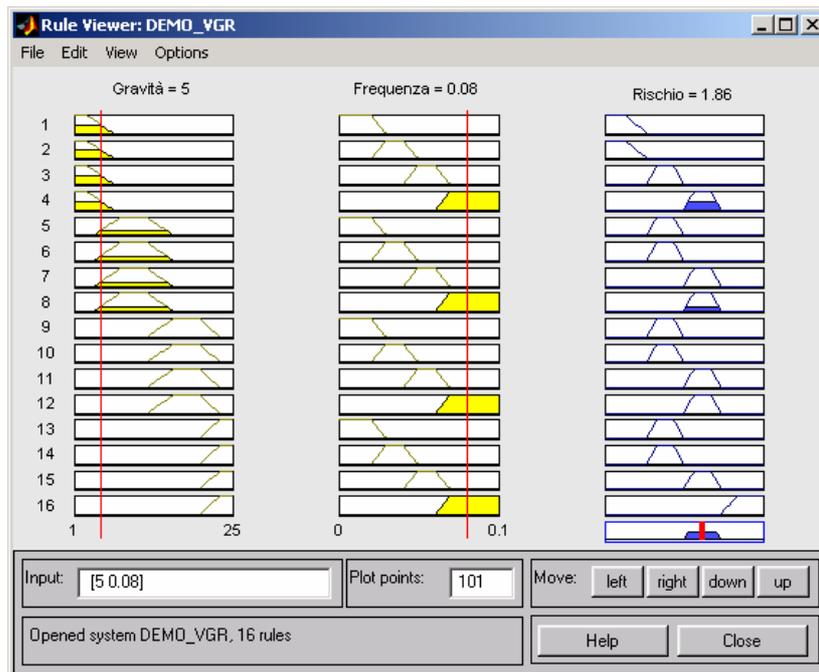


Figura 5 Risultati: situazione attuale.

Da questo punto in poi il lavoratore è nuovamente a rischio d'infortunio, anche se formato e informato al momento dell'assunzione o subito dopo il primo infortunio, necessita un *richiamo periodico della formazione* per mantenere costantemente sempre alto il livello di attenzione durante la sua abituale mansione lavorativa. Se questa prassi, con relative procedure operative fosse attuata, e se il richiamo di formazione avesse una cadenza semestrale, la frequenza di accadimento F potrebbe ridursi del 50% rispetto al valore attuale; pertanto con $S=5$ e $F=0.04$ (vale a dire il 50% di 0.08), il nuovo valore di R è pari a 0.6 (Figura 6). Questo valore di R appartiene all'insieme rischio "Basso", pertanto il livello di rischio è tollerabile e non è previsto alcun altro intervento di riduzione.

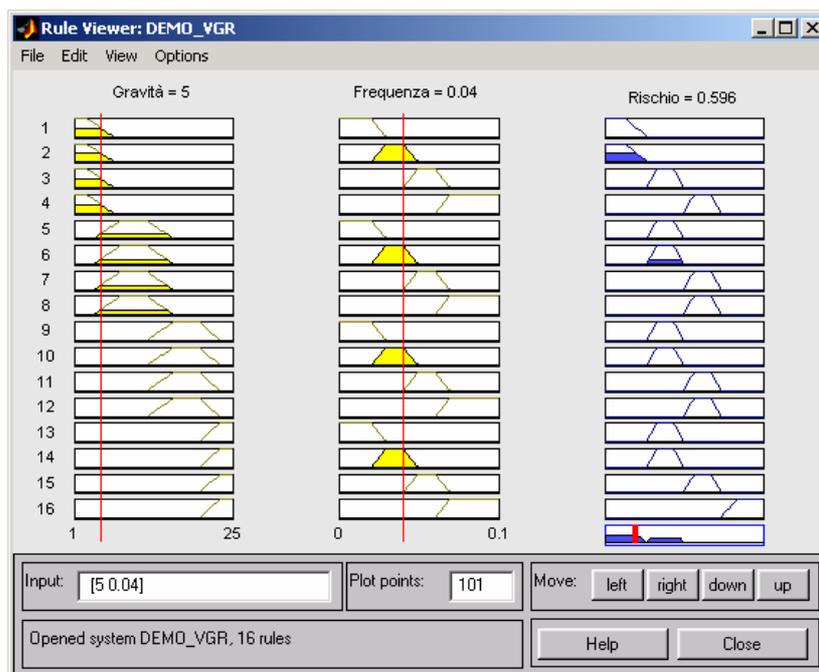


Figura 6-Risultati: dopo interventi di riduzione.

6. CONCLUSIONI

Questa ricerca si è sviluppata traendo spunto dalla necessità di costruire uno strumento metodologico decisionale, al fine di stimare “*a priori*” l’esposizione dei lavoratori al rischio d’infortunio negli ambienti di lavoro industriali e di cantiere a fini preventivi.

Lo studio condotto presso uno stabilimento di un’azienda italiana produttrice di pneumatici ha fornito risultati soddisfacenti; infatti, avvalendosi di un modello basato sulla Logica Fuzzy è stato possibile valutare il livello di rischio a cui sono attualmente esposti i lavoratori del reparto confezioni del suddetto stabilimento, proporre degli interventi preventivi per ridurre il rischio e valutarne l’effettiva efficacia.

Nel caso specifico è emersa una carenza nella formazione dei lavoratori sulle procedure di movimentazione manuale dei carichi, pertanto l’introduzione di procedure operative, di una formazione specifica al momento dell’assunzione e di un richiamo periodico della stessa si sono tradotti in una riduzione della frequenza di accadimento e quindi del livello di rischio. Infatti, il rischio da un valore attuale “Alto”, vale a dire $R=1.86$, non tollerabile e per cui sono richiesti consistenti interventi di riduzione, si è ridotto ad un valore “Basso”, vale a dire $R=0.6$, tollerabile e per cui non è richiesto alcun intervento.

Il modello di analisi realizzato pertanto permette all’analista di:

- valutare il livello di rischio di una fase lavorativa (e/o di un comparto);
- verificare e quantificare la riduzione del rischio dopo avere adottato misure preventive e/o protettive;
- stabilire una priorità di interventi in base ai livelli di rischio valutati per ciascuna fase (e/o comparto).

Si osservi come il metodo, nonostante la particolarità dell’applicazione presentata nelle pagine precedenti, si ritiene facilmente estendibile a qualsiasi azienda o cantiere, con il solo limite di disporre di un sufficiente e omogeneo numero di registrazioni infortuni, in modo da istruire correttamente il software e ottimizzare (tuning) i parametri di riferimento.

RINGRAZIAMENTI

Per la realizzazione di questo studio si ringrazia il Dr. Andrea Dotti responsabile del Servizio Spresal Asl 7 di Chivasso, nonché gli ispettori del Servizio stesso.

BIBLIOGRAFIA

- [1] W. Hammer, *Handbook of system and products Safety*; Prentice-Hall inc. Engkewood Cliffs, N.J., 1972
- [2] G.C. Bello, *La Valutazione Quantitativa del Rischio*, ENI- Sicurezza nell'Ambiente di Lavoro – Documenti 1-2, 1978
- [3] R. Galvagni, *Problemi Decisionali e Logica dell'incerto*, Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma, 1997
- [4] Report Annuale INAIL 2000
- [5] S. Murè, M. Demichela, N. Piccinini, *Risk assessment of occupational accident by fuzzy logic method*, Las Palmas, EMCHIE 2003
- [6] S. Cammarata, *Sistemi fuzzy: un' applicazione di successo dell' intelligenza artificiale*, Etaslibri 1994
- [7] L.A. Zadeh, *A Fuzzy-Algorithmic Approach to the Definition of Complex or Imprecise Concepts*, *Int. Man-Machine Studies*, 8, pp.249-291, 1976.
- [8] M.Carcassi, G. M. Cerchiara, L.Zambolin, G.Romano *The influence of the human error on naval accidents. A fuzzy logic approach*, Berlino, Esrel 2004
- [9] P.McCauley-Bell, Adedji B.Badiru, *Fuzzy Modeling and Anlytic Hierarchy Processing to Quantify Risk Levels Associated with Occupational Injuries*, IEEE Transactions on fuzzy systems, Vol. 4, No. 2, May 1996
- [10]D. Dubois, H. Prade “*Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*”, Academic Press, New York 1980
- [11]M. Sato, Y. Sato, L.C. Jain, *Fuzzy Clustering Models and Applications*, Polish Academy of Sciences, 1996
- [12]L.A. Zadeh, *Fuzzy Sets*, Information and Control, vol.8, pp. 338-353, 1965.