

Ing. Stefano Marsella
Ministero dell'interno - Corpo Nazionale dei vigili del fuoco
Servizio Tecnico Centrale
Via Cavour 5 00184 Roma

Dott. Giuliano Janson
Università degli Studi di Roma - La Sapienza
Dipartimento di Scienze statistiche ed attuariali
Pza A.Moro 1 00184 Roma

La formazione in materia economica e statistica dell'ingegnere della sicurezza

ABSTRACT

La necessità di integrare l'iter formativo degli ingegneri della sicurezza con nozioni di economia e di statistica è resa necessaria dalle nuove esigenze che si profilano nel mondo del lavoro. Da un lato, infatti, il settore produttivo è sempre più sensibile ai riflessi economici della sicurezza, dall'altro tale nuova impostazione è sancita anche da disposizioni comunitarie.

Anche per quanto riguarda la necessità di un maggiore approfondimento delle nozioni di statistica, le valutazioni di sicurezza, che si applichino ai prodotti, alle attività civili o industriali, fino ad arrivare al settore delle industrie a rischi di incidente rilevante e del nucleare non possono più prescindere da conoscenze approfondite e non superficiali di tale disciplina. Al riguardo, si illustra un caso di applicazione di relazioni statistiche al caso di affidabilità degli impianti.

1 La necessità di un approccio economico nella formazione professionale

La disciplina tecnico-scientifica che tutela la sicurezza e l'igiene non riguarda solo la sfera etica nell'attività di un professionista. Infatti, non sono poche, né trascurabili, le implicazioni che l'attività di prevenzione comporta nell'ambito economico. Se, a questa considerazione, si aggiunge che la concorrenza tra le imprese non permette più di trascurare quelli che possiamo chiamare giacimenti virtuali di risorse, quali sono proprio i mancati infortuni o le mancate malattie professionali, si deduce che, anche nell'aspetto formativo degli addetti alla sicurezza, non è più possibile evitare di introdurre elementi specifici di attenzione nei riguardi dell'approccio economico alla sicurezza.

Nelle considerazioni che seguono, si intende dimostrare che gli investimenti nel settore della sicurezza non costituiscono dei costi aggiuntivi per le imprese ma, al contrario, migliorano produttività e bilanci e che, quindi, la gestione di tale fase tecnico economica è responsabilità di una

figura professionale estremamente vicina a quella dell'ingegnere, cercando di rendere evidente lo stretto legame che esiste tra la gestione delle problematiche economiche, e quella dell'igiene e della sicurezza. Non a caso, infatti, l'intendimento comunitario posto alla base delle diverse direttive sulla sicurezza del lavoro che in Italia hanno dato luogo al decreto legislativo n. 626 del 1994, é stato quello di affidare al datore di lavoro la valutazione dei rischi e la successiva scelta delle misure di sicurezza da attuare, riconoscendo che solo nell'ambito di una strategia di sicurezza definita all'interno della gestione aziendale si possono effettivamente contemperare le esigenze di sicurezza con quelle di competitività che l'Unione Europea deve garantire per perseguire i propri obiettivi primari.

Le direttive comunitarie in materia di igiene e sicurezza dei luoghi di lavoro, come accennato in precedenza, sono state concepite soprattutto in funzione della loro applicazione alle piccole e medie imprese, scelta legata anche ai dati sulle malattie e gli infortuni professionali a livello europeo. Per la prima volta, si é cercato di coniugare, anche a livello normativo, la problematica della sicurezza con quella emergente della qualità. Non tutte le piccole e medie imprese, fino all'emanazione delle direttive che si analizzano, disponevano di servizi dedicati all'igiene e sicurezza dei lavoratori. Con le nuove disposizioni sono stati forniti gli elementi per un approccio sistematico al problema, indipendentemente dalla dimensione o organizzazione dell'unità produttiva.

Appare chiaro che il nuovo impianto regolamentare favorisce la parte datoriale sotto il profilo economico, permettendo di raggiungere il livello minimo di sicurezza imposto dalla legge secondo una propria valutazione dei rischi ed attuando misure di sicurezza compatibili con le esigenze produttive.

A dispetto del profondo mutamento culturale che hanno introdotto i regolamenti di attuazione dei disposti comunitari, non é stato registrato a livello di cultura aziendale un'effettiva risposta in termini di consapevolezza delle novità. In altri termini, il processo deve ancora pervenire ad un effettivo coinvolgimento degli originari destinatari della direttiva: le incombenze relative all'igiene ed alla sicurezza, infatti, continuano ad essere viste come un fardello economico, oltre che un adempimento burocratico, da assolvere nel modo meno pesante possibile dalle aziende evitando, possibilmente, qualunque interferenza con l'assetto produttivo dell'azienda. Tale impostazione, tra le altre cose, pare accomunare, più che in qualunque altro aspetto, il mondo pubblico a quello privato. Queste considerazioni trovano una giustificazione in alcuni dati oggettivi, disponibili da fonti ufficiali, secondo i quali non sono mutati nella sostanza i numeri relativi alla incidentalità in Italia, mentre, significativamente, non appare che siano stati compiuti studi di alcun tipo sui vantaggi gestionali ed economici di una corretta impostazione dell'igiene e sicurezza del lavoro, di cui invece all'estero sono stati analizzati molti profili;

Un ulteriore conforto a quanto rappresentato circa la mancanza di un reale mutamento culturale, perviene dagli effetti del nuovo regime sanzionatorio in materia di igiene e sicurezza dei luoghi di lavoro, emanato pochi mesi dopo il recepimento delle direttive CEE, che ha snellito l'iter per l'estinzione di alcuni reati meno gravi (ricordiamo che a partire dal 1955, in Italia le inadempienze del datore di lavoro o dei suoi dipendenti in materia di igiene e sicurezza del lavoro sono considerati reati penali) e che ha visto un notevole aumento delle sanzioni comminate e delle conseguenti, non simboliche, oblazioni versate dai datori di lavoro.

Secondo i dati pubblicati nell'aprile del 1995 dall'Organizzazione mondiale della sanità, ogni anno nel mondo si verificano circa 120 milioni di infortuni sul lavoro, con quasi 200.000 morti, ed è stimato tra i 68 ed i 157 milioni il numero di nuovi casi di malattie dovute a vari tipi di esposizione professionale. Secondo la stessa organizzazione, le perdite che si registrano sul piano economico arriverebbero ad un valore pari al 10% del prodotto interno lordo. Questi dati, se fossero sufficientemente ponderati, potrebbero aiutare a rendere meno pressante un aspetto tragico del mondo del lavoro, che ingoia ogni anno un elevato numero di vite umane e che porta con se anche negativi riflessi finanziari. E' chiaro che cifre di questo genere sono imputabili soprattutto alle situazioni che si alimentano dalle tragedie ambientali e sociali del terzo e del quarto mondo, ma uno sforzo per elevare le condizioni di igiene e di sicurezza nel mondo occidentale, anche in mancanza di interventi diretti nei Paesi più svantaggiati, porterebbe necessariamente a migliorare la situazione di questi ultimi. Tralasciando le problematiche di carattere etico, ai fini di una valutazione analitica degli effetti economici della gestione dell'igiene e della sicurezza del lavoro all'interno delle imprese, è bene premettere che tutte le successive considerazioni sono basate su elementi non sempre supportati dalla necessaria base di dati, dal momento che le informazioni di partenza per un'indagine sistematica relativa ai riflessi economici della corretta gestione della sicurezza non sono disponibili né a livello europeo né mondiale. Pur disponendo, infatti, ogni Stato di propri servizi di rilevazione, le divergenze tra le metodiche di raccolta dei dati sono tali da non permetterne la comparazione. Il problema, per i suoi riflessi sulla problematica generale è stato evidenziato in sede comunitaria, tanto che l'Unione Europea ha avviato un programma finalizzato a rendere comparabili i dati provenienti sull'argomento dai singoli Stati membri. Per dare un'idea di quanto possano divergere i dati, si possono confrontare i dati relativi al settore privato statunitense, che indicano in 3 milioni gli infortuni o le malattie che hanno condotto alla perdita di giornate lavorative nel 1990 con quelli relativi all'Italia che, con un sesto della popolazione, ha raggiunto nel 1996, quasi un milione di incidenti (tabella 1).

Per quanto riguarda il profilo economico dei vantaggi derivanti da una migliore gestione della sicurezza e dell'igiene del lavoro si possono correlare i dati dei costi dovuti ad infortuni e malattie

professionali con quelli degli oneri derivanti dal miglioramento delle condizioni di sicurezza. Si può fare riferimento ad indagini di fonte britannica, di raffronto dei costi necessari al miglioramento del luogo di lavoro in funzione delle tipologie aziendali più diffuse. Secondo tale fonte, la media per dipendente varia enormemente tra i vari tipi d'azienda ed in funzione della dimensione delle stesse, passando nel 1994 dai circa 0,4 ai 37 Euro per dipendente-anno.

In uno dei rari studi di italiani elaborati è stata svolta un'approfondita analisi, mettendo in relazione gli oneri derivanti dalle misure di prevenzione degli infortuni stessi- sono state elencate tutte le voci che incidono nella valutazione complessiva, sia direttamente connesse all'infortunio che indirettamente. Le più importanti:

- costi legati al tempo perso per prestare i primi soccorsi all'infortunato;
- costi legati al tempo perso dagli altri lavoratori per assistenza, commenti, curiosità ecc.;
- costo legato al tempo perso dal responsabile di reparto per indagini, istruzione del sostituto, procedure di segnalazione ecc.;
- costo legato al tempo perso per la denuncia d'infortunio;
- i costi sanitari e per il primo soccorso;
- costi legati ai danni a materiali, attrezzature e macchine;
- i costi per lavoro straordinario suppletivo per inattività del posto di lavoro;
- i costi legati alla diminuzione di produzione e minor rendimento dell'infortunato alla ripresa del lavoro.

I rimanenti costi a carico dell'impresa possono essere dedotti dagli uffici d'amministrazione:

- indennizzi a carico dell'impresa (retribuzione dell'infortunato, periodo di franchigia);
- costi relativi alla retribuzione dell'infortunato durante l'assenza dal lavoro;
- costi sanitari e spese ambulatoriali e specialistiche;
- costo del tempo perso da dirigenti e datori di lavoro nei casi più gravi;
- costi relativi a procedimenti giudiziari nei casi più gravi.

Esiste, poi, il costo del tasso di premio INAIL che, unito alle malattie professionali, incrementa la somma da versare annualmente a tale Ente.

Nella trattazione si evidenzia che i costi indiretti sono superiori a quelli diretti ed anzi, ne superano il valore tra le 2 e le 4 volte. Anche in questo caso, per pervenire ad una comparazione tra i costi degli infortuni e quelli legati alla loro prevenzione, si ritiene necessario premettere alcune considerazioni di carattere generale, relative alla strategia aziendale, che non si deve porre come obiettivo la sicurezza assoluta e, quindi, l'assenza totale di rischi, pena l'irrealizzabilità di qualunque misura. Inoltre, si evidenzia che i costi della sicurezza crescono esponenzialmente all'aumentare del livello di sicurezza raggiunto. In altri termini, se per raggiungere un determinato

livello di sicurezza il costo delle relative misure raggiunge un determinato importo, un ulteriore salto di sicurezza, di pari intervallo, comporterà spese notevolmente superiori a quelle precedenti.

E' necessario poi ricordare che il livello di sicurezza accettabile non corrisponde ad un valore definitivo ed immutabile ma deve essere continuamente rideterminato in funzione di precise variabili, legate alla situazione sociale, storica, economica del contesto al quale si applica: per confortare quest'affermazione é sufficiente considerare la crescente complessità del sistema regolamentare e normativo in tema di sicurezza, sia nazionale che comunitario. Anche in questo caso, il concetto secondo cui il livello di sicurezza minimo varia nel tempo non é espresso esplicitamente in alcun atto legislativo o regolamentare, ma piuttosto, é implicito nel sistema tecnico-giuridico, che prevede costanti variazioni alle misure tecniche in grado di soddisfare l'esigenza di sicurezza richiesta dalla società.

Sulla base di queste premesse é possibile comprendere perché i sistemi di valutazione dei costi legati alla sicurezza non siano costituiti da metodi deterministici ma, piuttosto, da un insieme di valutazioni da compiere caso per caso ed in funzione di parametri estremamente diversificati, rendendo in definitiva incerta la comparazione con i costi certi di infortuni e malattie.

Un altro elemento che è opportuno analizzare riguarda il modo in cui é stata sviluppata la problematica del rapporto costo-benefici della sicurezza in fabbrica. Nei vari casi studiati, i tre criteri proposti (analisi del sistema, realizzazione delle misure e effetti sul sistema dopo le migliorie) mostrano che i vantaggi economici si rivelano sempre superiori ai costi sostenuti, sia in termini di minori incidenti avvenuti che di migliorie del sistema produttivo. Tale aspetto é evidenziato da un altro studio che ha rilevato come, se anche i miglioramenti non mostrano riflessi nel settore dell'igiene e della sicurezza, in ogni caso la produttività ne risulta aumentata. Da questi ultimi aspetti é possibile trarre un ulteriore spunto di riflessione, che porta a definire in maniera più integrata la questione sicurezza all'interno delle problematiche aziendali, rendendo, in ultima analisi, più difficile se non impossibile scindere il profilo puramente economico da quello tecnico per una loro trattazione separata. Se si confronta l'esperienza della pur rischiosa attività mineraria risulta che gli investimenti in sicurezza sono normalmente ripagati dalle mancate perdite dovute agli infortuni.

Come esempio di un esame di adeguato approfondimento, si porta il caso di una nota industria svedese e che si basava sull'uso di attrezzature manuali. Nella valutazione dei costi dovuti agli interventi di miglioramento delle condizioni di sicurezza e dei vantaggi ad essi collegati é stato riportato che gli utensili a mano costituiscono, per la loro propensione ad essere causa di infortunio, uno dei principali problemi del lavoro manuale in stabilimento. Le assenze per malattie e le lesioni scheletrici ad essi legate, nell'esperienza di cui si riferisce, costavano all'industria

automobilistica circa 1,8 milioni di Euro ogni anno. In conseguenza di tale valutazione, la ditta stessa ha impostato un programma di sviluppo, finalizzato alla progettazione ed utilizzazione di nuovi attrezzi ad uso manuale, con un onere stimato di 1,3 milioni di Euro. A seguito di misure sistematiche compiute da un organismo industriale, che per la propria struttura interna ha maggiori possibilità di tenere sotto controllo in modo sistematico le differenti voci dei costi legati alla sicurezza, è stato possibile determinare e mettere in atto una politica di sicurezza in funzione del vantaggio economico che poi è stato effettivamente conseguito.

Tornando all'argomento generale dell'analisi costi-benefici, si è cercato di dimostrare che un approccio consapevole al miglioramento del livello d'igiene e sicurezza nelle imprese è di per sé un fattore economicamente vantaggioso, sia in termini direttamente apprezzabili che dal punto di vista del miglioramento delle relazioni industriali. Se, trattando l'argomento esaminato, si facesse riferimento esclusivamente alla pur pletorica letteratura disponibile sull'argomento in Italia, si dovrebbe concludere che, allo stato attuale, il mutato clima in materia di sicurezza è inteso soprattutto come l'adempimento di un obbligo fissato per legge e sanzionato, sia in via amministrativa che penale, senza che traspaia alcun accenno alle intrinseche possibilità introdotte dal nuovo ordinamento.

La stretta correlazione tra aspetti economici e di sicurezza non è ancora stata assimilata, nonostante sia stata ampiamente sottolineata dalla letteratura specializzata in Europa ed addirittura, ne sia stata formalizzata l'importanza con l'introduzione da parte del legislatore dell'obbligo, imposto al datore di lavoro, di seguire direttamente le problematiche di igiene e sicurezza. Piuttosto che formare delle figure professionali in grado di seguire in modo organico entrambi gli aspetti aziendali, oltretutto a vantaggio dell'aspetto produttivo, si assiste ad un'adesione meccanica agli aspetti procedurali imposti dalle nuove disposizioni ma, tuttavia, priva di elementi di novità e di propensione alle innovazioni. L'assolvimento degli obblighi è stato spesso portato a termine con l'esplicito intento di evitare che il sistema produttivo fosse in qualche modo compromesso dalle valutazioni di sicurezza e questo permette di apprezzare la lungimiranza del legislatore, che ha esplicitamente previsto che la responsabilità della sicurezza, che ricade sul datore di lavoro, non possa essere delegata ad altri.

Considerando che, sulla base dei dati statistici relativi all'incidentalità nelle attività produttive, il livello raggiunto in Italia non appare inferiore a quello dei Paesi di analogo livello tecnico-economico, si ritiene che i passi che effettivamente rimangono da compiere riguarderanno soprattutto la divulgazione, nelle forme più adeguate, degli intrinseci rapporti che esistono tra il miglioramento della gestione dell'igiene e della sicurezza dei luoghi di lavoro e nella conseguente formazione di figure in grado di gestire il processo nella sua globalità e, soprattutto, la creazione di figure professionali, che di fatto sono già richieste dal mercato del lavoro, ma che stentano ad

imporsi per l'assenza di appositi iter formativi e quindi di una istituzionalizzazione che ne renda evidente il ruolo ed i benefici nei riguardi del processo produttivo.

2 La necessità di un approccio statistico nella formazione professionale

Riferimenti essenziali di statistica sono notoriamente richiamati all'attenzione del tecnico della sicurezza che si occupa di affrontare la problematica dei rischi di incidente rilevante o del settore nucleare. Recentemente, anche la disciplina definita come ingegneria della sicurezza antincendio ha obbligato a compiere valutazioni di affidabilità dei sistemi, che quindi sono stati analizzati con strumenti propri della trattazione statistica, mentre un analogo processo coinvolge normalmente le produzioni in serie. Se si esclude, però, la formazione specifica che ricevono gli ingegneri destinati ad operare nel settore nucleare, si osserva che difficilmente l'educazione degli ingegneri si sofferma con la necessaria attenzione su questa disciplina, che pure ormai è entrata a tutti gli effetti tra gli elementi essenziali da considerare quando si valuta la sicurezza di sistemi complessi. Piuttosto che indagare nei singoli settori della sicurezza in cui si rende necessario affrontare studi di tipo statistico, a questo proposito si preferisce illustrare uno dei metodi possibili di valutazione dell'affidabilità, al fine di rendere evidente le potenzialità di tali metodi e, in definitiva, l'opportunità di una più approfondita conoscenza e di una più larga applicazione nello studio di situazioni complesse. A questo fine, quindi, ci si sofferma su un approccio relativo alla teoria dell'affidabilità, che come noto interessa trasversalmente tutta la scienza della sicurezza. In particolare, per formulare una teoria quantitativa per lo studio dell'affidabilità di componenti e sistemi, nella letteratura si ricorre ad un approccio probabilistico basato sul concetto di variabile aleatoria. Il punto di partenza è quello della definizione del concetto di affidabilità. Questa è la probabilità $R(t)$ che il tempo di guasto τ sia maggiore di t , cioè che la componente in esame non si sia ancora guastata al tempo t .

Le considerazioni che seguono, senza perdere in generalità, fanno riferimento alla funzione $F(t) = 1 - R(t)$ che è semplicemente il complemento ad 1 dell'affidabilità.

Solitamente si assegna a $F(t)$ la forma di una tra le più note famiglie di distribuzioni di probabilità che trovano applicazione nel campo dell'interpretazione dei fenomeni legati al guasto di componenti e sistemi. Tra queste, ad esempio, si ricordano la distribuzione *esponenziale* ($F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$) e quella di *Weibull* ($F(t) = 1 - e^{-(t/\eta)^\beta}$).

Assegnando ad un fenomeno una legge di probabilità si incorre in due ordini di problemi.

Affermare che l'evento "tempo di guasto" ha una certa forma distribuzionale $F(t)$ non vuol dire che questo si comporti esattamente come descritto da $F(t)$, ma solamente che $F(t)$ dovrebbe rappresentare una buona approssimazione della realtà soggiacente il fenomeno stesso.

È pertanto lecito chiedersi se, effettivamente, $F(t)$ ben rappresenti il fenomeno studiato.

In secondo luogo, le distribuzioni più frequentemente utilizzate (tra le quali quelle precedentemente citate) sono quasi sempre funzioni di un parametro scalare o vettoriale (ad esempio, λ nel caso della distribuzione esponenziale, η e β nel caso della Weibull).

È chiaro quindi che i risultati analitici relativi allo studio del fenomeno trattato sono strettamente legati ai valori di tali parametri. È necessario quindi essere in grado di assegnare un valore ai parametri ed, eventualmente, di verificare la conformità della decisione effettuata al bagaglio di informazioni che costituiscono le conoscenze acquisite nel passato sul fenomeno.

Il punto di partenza per la soluzione di ambedue i problemi descritti è un campione di osservazioni. Sia quindi (t_1, \dots, t_n) un campione ottenuto come realizzazione della variabile aleatoria n -pla (τ_1, \dots, τ_n) a componenti indipendenti e identicamente distribuite.

Si consideri dunque il primo problema riguardante la conformità dei dati osservati (il campione) alla forma distribuzionale che si ritiene ben rappresenti il fenomeno. Sia $F(t)$ la funzione di ripartizione della generica τ_i . Sia (t_1, \dots, t_n) il campione osservato. L'idea è quella di costruire una nuova funzione di ripartizione $F_0(t)$ in base ai dati campionari e, quindi, di verificare tramite un *test statistico non parametrico* se $F(t)$ e $F_0(t)$ siano "significativamente" dissimili, cioè troppo dissimili perché, entro ragionevoli margini d'errore, possa essere ritenuto che il campione confermi la scelta di $F(t)$.

L'ipotesi da verificare, detta ipotesi nulla, è dunque $H_0 : F(t) = F_0(t)$. L'ipotesi alternativa è $H_1 : F(t) \neq F_0(t)$.

Tra i vari test per la soluzione di un problema di tale genere, quello qui riportato è il test del *chi quadrato*. L'idea su cui si basa tale test non è molto complicata. Anzitutto, si divide la retta $(-\infty, +\infty)$ in k segmenti contigui (o "classi") del tipo:

$$(-\infty, a_1], (a_1, a_2], \dots, (a_{k-1}, +\infty) \quad \text{con} \quad -\infty < a_1 < a_2 < \dots < a_{k-1} < +\infty .$$

Posto $a_0 = -\infty$ e $a_k = +\infty$ sia π_j la probabilità che la variabile aleatoria τ assuma un valore nell'intervallo $(a_{j-1}, a_j]$ e sia π_j^0 la probabilità corrispondente sotto l'ipotesi nulla (ossia quando τ ha funzione di ripartizione $F_0(t)$).

La considerazione su cui si basa il test chi quadrato è quella di trasformare il problema di ipotesi posto nel seguente (più semplice):

$$H_0 : \pi_j = \pi_j^0, \quad \forall j$$

$$H_1 : \pi_j \neq \pi_j^0, \quad \text{per qualche } j$$

Per il nuovo problema d'ipotesi si considerino le k variabili aleatorie $Y_{j,i} = \begin{cases} 1 & \text{se } a_{j-1} < \tau_i < a_j \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$.

La variabile aleatoria $Y_{j,i}$ è di tipo bernoulliano ed assume il valore 1 con probabilità π_j ed il valore 0 con probabilità $1 - \pi_j$.

Sia $R_j = \sum_{i=1}^n Y_{j,i}$ una variabile casuale che conta il numero di osservazioni campionarie della variabile aleatoria τ che appartengono alla j -esima classe. In altre parole R_j è la frequenza campionaria della classe j -esima. Date le R_j , gli stimatori delle probabilità $\pi_1 \dots \pi_k$ sono dati da $\hat{\pi}_j = R_j/n$ per $j = 1, \dots, k$.

Se H_0 fosse vera sarebbe lecito attendersi che le $\hat{\pi}_j$ assumano con alta probabilità valori "vicini" a π_j^0 ipotizzate come vere. Di conseguenza anche $n\hat{\pi}_j$ sarebbero vicine a $n\pi_j^0$. Il test viene quindi basato sulle k quantità $(n\hat{\pi}_j - n\pi_j^0)^2$, cioè sulle distanze (al quadrato) tra le frequenze campionarie e le corrispondenti frequenze attese sotto H_0 . Dividendo rispetto alle frequenze "teoriche" $n\pi_j^0$ e

sommando rispetto a j si ottiene la statistica test chi quadrato $\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(n\hat{\pi}_j - n\pi_j^0)^2}{n\pi_j^0}$.

La statistica test chi quadrato assume valori tanto maggiori quanto più grandi sono le differenze $(n\hat{\pi}_j - n\pi_j^0)^2$, cioè tanto più "distanti" sono le frequenze osservate da quelle attese. Valori "piccoli" di χ^2 permettono di accettare H_0 mentre valori "grandi" fanno rifiutare H_0 in favore di H_1 .

Si dimostra che, sotto H_0 , χ^2 ha distribuzione asintotica (per $n \rightarrow \infty$) di tipo χ^2 (da cui il nome del test) con $k-1$ gradi di libertà.

Fissato il livello di significatività α del test e detto $\chi_{k-1, \alpha}^2$ il valore della variabile aleatoria χ^2 tale che $\Pr(\chi_{k-1}^2 > \chi_{k-1, \alpha}^2) = \alpha$, le regioni di accettazione e di rifiuto sono del tipo

$$A : \chi^2 < \chi_{k-1, \alpha}^2$$

$$R : \chi^2 > \chi_{k-1, \alpha}^2$$

Il secondo problema affrontato riguarda la stima dei parametri caratterizzanti la variabile aleatoria τ . È opportuno sottolineare un aspetto della questione. I modelli probabilistici trattati sono basati su variabili aleatorie X con famiglia di funzioni di probabilità $\{p(x;\theta); \theta \in \Theta\}$, dove θ è un parametro appartenente ad un sottoinsieme Θ dei numeri reali. In tali condizioni si può affermare che la popolazione X ha una funzione di probabilità nota a meno del parametro θ , come spesso si dice, è nota la forma funzionale $p(x;\theta)$, mentre l'unico elemento incognito è il solo parametro θ . È per questo che l'inferenza sul parametro caratterizzante $p(x;\theta)$ è così importante. La conoscenza del valore del parametro implica la conoscenza della probabilità di qualsiasi evento generabile da X . Tra i metodi più conosciuti per la stima puntuale di un parametro di una popolazione vi è quello detto di "massima verosimiglianza".

Anche in questo caso il procedimento è piuttosto intuitivo. Sia $L(\lambda) = \prod_{i=1}^n p(t_i;\lambda)$ la verosimiglianza di un campione (t_1, \dots, t_n) . $p(t_i;\lambda)$ è la probabilità che la variabile aleatoria τ assuma il valore t_i . $\prod_{i=1}^n p(t_i;\lambda)$ è dunque la probabilità che la variabile aleatoria n -pla (τ_1, \dots, τ_n) assuma, come determinazione, la n -pla campionaria (t_1, \dots, t_n) .

Fissato il campione (t_1, \dots, t_n) , $L(\lambda)$ può essere vista come una funzione del parametro incognito λ . Il metodo di stima di massima verosimiglianza non fa altro che assegnare a λ quel valore che massimizza la verosimiglianza $L(\lambda)$ del campione intesa come una funzione di λ . Operativamente la soluzione può essere ottenuta derivando $L(\lambda)$ rispetto a λ , uguagliando a zero e risolvendo poi rispetto a λ .

Il metodo considerato può essere applicato solamente nel caso si conosca la forma distribuzionale della variabile aleatoria τ . È necessario inoltre che $L(\lambda)$ abbia derivata prima e seconda rispetto a λ .

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Rinefort* - Professional safety, 5 1992 - The economics of safety;
- [2] *Smith* - Official Journal of European Communities 30.6.93 - Costs of implementing EC safety regulations for the building industry;
- [3] *Janus*, n. 21- Usare gli strumenti della gestione della qualità per migliorare la sicurezza;
- [4] *Janus* n. 20 - Ogni anno 120 milioni di infortuni sul lavoro nel mondo;
- [5] *Monthly labor review* april 1992- Injuries and illness in the workplace, 1990;
- [6] *Industrial relations review* - 1994 september- Sickness absence monitoring and control: a survey of practice;

- [7] Health and safety executive news release 23.11.92 - Minister warns businesses about hidden costs of accidents as UK workplace health and safety week opens;
- [8] Industrial relations review 1994 february Health promotion in the workplace. Part 1- 2;
- [9] *Catanoso C.G.* - settembre 1996- L'analisi dei costi nell'attività di prevenzione e protezione - Personale e lavoro n. 404;
- [10] *Berra Arduino* Studi organizzativi 3/4 1982- Per un approccio psicosociologico alla sicurezza sul lavoro -;
- [11] *Toscano G., J. Windau* Monthly Labor Review - 9/1992- Fatal work injuries: census for 31 States -;
- [12] *Smallwood J.* - Safety Management Veiligheidsbestuur- 18/ 1992- Does safety cost money?;
- [13] *Unoki J.* Safety engineering 3/1993- Fire safety costs and benefits -;
- [14] *Bartlett M.S.* , An introduction to stochastic processes, University Press (1955)
- [15] *Chung K.L.* , A course in probability theory, Harcourt (1968)
- [16] *Cox D.R., Miller H.D.* , The theory of stochastic processes, Methus (1970)
- [17] *Dall'Aglio G.*, Calcolo delle probabilità, Zanichelli (1995)
- [18] *Parzen E.* ,Stochastic processes, Holden-Day (1962)
- [19] *Rizzi A.*, Inferenza statistica, Utet Libreria (1997)
- [20] *Rosenblatt M.* , Random processes, Oxford University Press (1962)
- [21] *Vitali O.*, Statistica per le scienze applicate, Cacucci Editore (1999)