

ANALISI DI OPERABILITA' COME STRUMENTO PER VALUTARE IL RISCHIO INCENDIO

NORBERTO PICCININI

POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica

RIASSUNTO

Si presenta un'Analisi di Operabilità (AO) ben strutturata che consente non solo di individuare in modo razionale e con risparmio di tempo le sequenze di eventi più critiche, ma anche di garantire la sistematicità e completezza dello studio.

La tecnica si basa sullo sviluppo di un'Analisi di Operabilità non gestita nel modo classico, ma già intesa come strumento per un'analisi logico-sequenziale da cui sia possibile ottenere, quasi automaticamente, un albero logico detto Diagramma delle Sequenze Incidentali (DSI). Si noti come questa possibilità consenta un controllo di congruenza altrimenti impossibile. Dal DSI possono poi essere facilmente ricavati sia Alberi dei Guasti, sia Alberi degli Eventi a seconda che la fenomenologia si presti ad essere meglio analizzata e risolta con l'uno oppure l'altro dei due metodi.

1. INTRODUZIONE

Nel loro libro T. J. Shields e G.W.H. Silcock affermano: "The development of useful, reliable fire safety evaluation techniques is proving elusive and is still very much in the embryonic state" [1].

L'autore ritiene invece che l'insieme delle metodologie correntemente utilizzate nell'industria di processo per una valutazione probabilistica dei rischi sono da tempo ben consolidate e la loro applicazione porta ad una reale conoscenza su una valutazione del rischio di incendio.

2. SVILUPPO DI UN'ANALISI DI OPERABILITA'

L'Analisi di Operabilità è un metodo di analisi qualitativa che, dall'esame critico delle deviazioni dalle normali condizioni di esercizio, permette d'identificare i malfunzionamenti di un impianto, i rischi connessi ed i relativi problemi di gestione [2].

Questa ben nota metodologia è tuttora spesso impiegata secondo le procedure codificate nella sua prima presentazione [3] o con le poche modifiche introdotte successivamente [4]. In sintesi, l'Analisi di Operabilità così eseguita rappresenta una fase di verifica di un progetto da parte di un gruppo di esperti che lo esaminano criticamente facendo ricorso alla propria

esperienza ingegneristica: nei moduli sono sintetizzati i risultati delle discussioni come azioni da intraprendere successivamente per ottenere un impianto con un maggior grado di sicurezza.

Nei casi in cui è richiesta anche la quantificazione di un certo numero di potenziali incidenti (stima della probabile frequenza di accadimento), la costruzione dei modelli logici dovrebbe essere eseguita sulla base delle informazioni riportate nei moduli dell'AO. Queste informazioni devono però essere interpretate dall'analista (cosa non sempre facile) e tradotte in termini di diagramma logico dei guasti.

La metodologia che si illustrerà in questo lavoro è stata sviluppata con l'obiettivo di automatizzare la fase di costruzione del modello logico, riducendo così i costi per l'analisi di sicurezza e la verifica del progetto su basi quantitative. In vista di ciò, si è dovuta necessariamente definire una procedura ben strutturata che tenesse in conto i legami logici inevitabilmente presenti in una corretta AO. Si noti difatti come sia proprio la presenza di tali legami logici che consenta di estrarre da una AO sia un Fault Tree (FT), che un Event Tree (ET) [5, 6].

La proposta metodologia sarà illustrata per mezzo di un esempio assai semplice: una friggitrice installata in una cucina molto ben protetta contro lo sviluppo di incendi.

Nella Fig. 1 è rappresentato l'impianto con indicati, all'interno o alla periferia di questo, i possibili punti critici ("Nodi") [4]. In questi nodi saranno ricercate le deviazioni dalle normali condizioni operative delle variabili di processo (in questo caso l'unica che interessa è la temperatura) senza far uso di Parole Guida che in questa procedura creerebbero solo ambiguità.

2.1 Procedimento

Al fine di facilitare il compito dell'analista e per assicurare una certa formalizzazione, l'analisi è sviluppata su appositi moduli come quello di Fig. 2 e Tab. 1. Esso è suddiviso in sette colonne che rispondono ad un preciso schema logico tale da permettere una successiva ricostruzione grafica delle sequenze di eventi individuati nell'Analisi di Operabilità.

Poiché lo svolgimento dell'AO può dipendere pesantemente da una più o meno corretta suddivisione dell'impianto in sottosistemi e quindi essenzialmente dalla sensibilità ed esperienza dell'analista, nello schema di flusso di Fig. 3 i Box A, B, C e W sono dedicati ad una verifica su questo aspetto iniziale.

Un'altra operazione preliminare è quella di individuare sia i nodi di frontiera, che quelli interni a ciascun sottosistema – [Box D], cioè dei punti dove possono svilupparsi o propagarsi deviazioni delle variabili di processo (pressione, temperatura, ecc.). Questi punti devono essere opportunamente numerati. Il procedere di questa attività va evidentemente di pari in passo, con l'identificazione delle variabili di processo significative per l'analisi – [Box E].

L'AO vera e propria inizia in definitiva dal riquadro F, è a partire da questo che si riportano nel seguito i dettagli del procedimento.

- [Box F] - Normalmente l'impianto è analizzato seguendo le linee di flusso, è opportuno quindi scegliere come iniziale un nodo di frontiera del primo sottosistema.
- [Box G] - si sceglie la prima variabile di processo con cui si intende incominciare l'analisi, dapprima ci si interroga sulle sue significative deviazioni dalle condizioni operative di regime – [Box H] - e quindi sui sistemi di regolazione (o di blocco) in grado di intervenire – [Box X].
- [Box I] - Individuata una "Deviazione" (colonna 1) si cercano tutte le "Cause possibili" (colonna 2).

Con riferimento alla Fig.2 le cause individuate sono state suddivise mediante:

- Una linea tratteggiata, se legate logicamente fra loro in OR.
- Con il simbolo &, se legate logicamente fra loro in AND.

Nella colonna (3) si riportano le "Conseguenze" che dovessero generarsi dalla deviazione ove fallissero o fossero assenti i dispositivi protettivi. – **[Box J]** - si prosegue ora l'analisi indagando sull'entità della gravità delle conseguenze. Se una di queste risulta critica, ovvero si configura come TE, allora deve essere contrassegnata nella colonna (7) mediante un numero progressivo.

In ogni caso per poter individuare una conseguenza come TE, essa deve risultare da deviazioni su cui fallisce l'intervento dei sistemi di protezione oppure questi non sono stati previsti (Fig. 2).

- **[Loop K-J]** - se la prima conseguenza individuata nel box I è di tipo intermedio e non è ritenuta un Top Event conclusivo per l'analisi, essa deve essere ulteriormente sviluppata fino a giungere od alla conseguenza considerata finale oppure all'esaurimento di tutte le conseguenze possibili ed attendibili per l'intero impianto. Si noti difatti come ogni conseguenza sia anche una deviazione dalla normalità e come tale possa provocarne altre più gravose (effetto domino). Per l'individuazione di queste ultime si prosegue come segue. – **[Box K]** - La conseguenza intermedia è trasformata in deviazione mediante lo spostamento:

colonna (3)----->(1)

e la corrispondente deviazione, risultando esserne automaticamente la causa, è ritrascritta effettuando lo spostamento:

colonna (1)----- > (2)

A questo punto, analizzando il processo si individuano una o più nuove conseguenze.

Così muovendosi lungo le linee di flusso dell'impianto, si risale a tutti i possibili eventi critici o TE.

Seguendo lo schema di Fig. 3, si continua l'analisi rintracciando l'origine di ogni causa individuata. Ciò è fatto muovendosi di nodo in nodo lungo le linee di flusso dell'impianto; a tal fine si opera sulle colonne (1)÷(3) del modulo applicando semplici regole logiche.

- **[Box Li]** - se le cause individuate nel box I sono ritenute primarie per l'approfondimento raggiungibile a tale livello dell'analisi, esse sono contrassegnate opportunamente (ad es. con un asterisco)
- **[Box Ni]** - Altrimenti devono essere ulteriormente analizzate. Difatti esse rappresentano pur sempre deviazioni dalle condizioni di regime provocate da altre cause da individuarsi come segue.
- **[Box M]**- Le cause non primarie si sviluppano considerandole a loro volta deviazioni mediante lo spostamento:

colonna (2)----->(1)

nel senso di riscrivere il contenuto della voce di colonna (2) anche nella (1). Inoltre la corrispondente deviazione risulterà necessariamente una "Conseguenza" della nuova "Deviazione", per cui si opererà lo spostamento:

colonna (1) ----- > (3)

Analizzando ora il processo si individuano nuove cause.

- **[Loop M-L]** - Procedendo sistematicamente, si risale di causa in deviazione fino alle cause ritenute primarie con riferimento alla conseguenza individuata nel box I.

E' interessante notare come automaticamente, durante questo sviluppo dell'analisi, si raggiungano i nodi di frontiera e quindi si debba analizzare anche il sottosistema adiacente.

Si noti inoltre come l'insieme delle due procedure, Loop K-J e Loop M-L, garantisce non solo la congruenza dell'analisi, ma consente anche la connessione fra rami diversi nei successivi sviluppi con alberi logici.

- **[Box O]** - Si esaurisce l'indagine per tutte le variabili di processo individuate nel box E.
- **[Box P]** - L'analisi si completa per tutti i nodi di cui al box D.

- **[Box Q]** - Se, dopo aver seguito lo schema di flusso, non fossero emerse le conseguenze indesiderate per interventi spuri dei sistemi protettivi, è indispensabile che questi (deviazioni) siano analizzati a parte.
- **[Box X]** - Ogni volta che, all'interno del box I o percorrendo i Loop K-J e Loop M-L, si individua una deviazione si devono riportare nelle colonne (4) e (5):
 - le segnalazioni ottiche ed acustiche,
 - i mezzi protettivi e di blocco automatici, esistenti sull'impianto.
- **[Box Y]** – E' opportuno eseguire a questo punto un esame di completezza scorrendo quanto riportato in testa ai vari moduli e controllando se tutti i nodi individuati e tutte le variabili di processo in essi presenti sono stati valutati durante l'analisi. Si deve inoltre svolgere un controllo sulla congruenza di questa seguendo, per ogni deviazione, causa e conseguenza gli spostamenti fra le colonne (1), (2) e (3).

Un primo risultato agli effetti della sicurezza dell'impianto emerge immediatamente al termine dell'Analisi di operabilità esaminando i moduli compilati. Infatti si individuano i TE per i diversi sottosistemi e si vede, colonne (4) e (5), se sono stati previsti dispositivi di segnalazione o sistemi protettivi per le deviazioni che generano tali TE.

3. COSTRUZIONE DI ALBERI LOGICI PARTENDO DALL'ANALISI DI OPERABILITA'

Il primo albero logico che può estrarsi facilmente dall'AO e da cui possono ricavarsi tutti gli altri (FT, ET, ecc.) è il Diagramma delle Sequenze Incidentali. Esso è difatti una rappresentazione grafica che permette un immediato collegamento fra l'Analisi di operabilità e l'Albero dei Guasti o l'Albero degli Eventi [5,6].

La sua costruzione dovrebbe risultare da una semplice trascrizione di quanto compare sui moduli usando le ben note porte logiche già implicite in una corretta AO (Fig.2).

Il Diagramma delle Sequenze Incidentali ricavabile dal tipo di AO descritto è di solito un insieme di DSI elementari, ciascuno dei quali descrive in forma logica il realizzarsi del Top Event (TE); i vari DSI elementari risultano quindi interconnessi fra loro (Fig. 4).

Si noti inoltre come la costruzione dei DSI elementari, uno per ogni TE, consenta, oltre ad una verifica di congruenza, anche un ulteriore controllo di sistematicità e completezza della AO svolta.

Al fine di facilitare tale trascrizione, la cui procedura è peraltro reperibile anche in altri articoli [6,7], si possono fare alcune considerazioni sul significato logico che possono assumere le varie colonne in cui è suddiviso il detto modulo. Come si vede in Fig. 2, le colonne (1) , (2) e (3) si riferiscono ai malfunzionamenti di processo mentre le colonne (4) e (5) alla loro mancata protezione.

Nel caso del DSI l'analisi si ferma al grado di approfondimento raggiunto nell'Analisi di Operabilità. Solo con il FT, gli eventi primari sono interamente sviluppati per consentirne anche un completamente quantitativo. Per far ciò è sufficiente sviluppare le affermazioni contenute nelle scatole, che si riferiscono alla colonna (2) del modulo dell'AO, in eventi, detti appunto primari, a cui siano associabili dei tassi di guasto. Quindi, ove si conoscessero i parametri affidabilistici dei componenti sarebbe immediato il calcolo della probabile frequenza di accadimento del TE.

In modo analogo si procederebbe per ricavare un Albero degli Eventi (Fig. 5) [7].

4. CONCLUSIONI

Per quel che riguarda l'AO, è stata presentata una procedura assai innovativa che, per mezzo di un meccanismo ricorsivo, consente il riempimento dell'apposito modulo sino ad un completamento certo dell'analisi.

Tale procedura consente non solo di valorizzare i classici punti di forza del metodo, cioè la sistematicità e completezza dell'analisi, ma anche di fare delle semplici verifiche dell'effettivo raggiungimento di questi obiettivi. Inoltre l'estrazione diretta del Diagramma delle Sequenze Incidentali dall'AO consente un controllo di congruità dell'analisi altrimenti impossibile ed un rapido passaggio ai FT ed ET.

Il metodo, illustrato con un semplice esempio, è proposto quale efficace strumento di valutazione dei rischi di incendio.

5. RINGRAZIAMENTI

Un sentito ringraziamento va a Italo Ciarambino che ha rivisto criticamente il manoscritto e suggerito costruttive modifiche.

Si dà atto che parte di questo lavoro è stato presentato al convegno EuroFire 95 [8].

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Shields T.J. and Silcock G.W.H. (1987) "Building and Fire", Longman Sc. Tech., Harlow.
- [2] Lees E.P. (1981), "Loss Prevention in the Process Industries", 2 vols, Butterworths, London.
- [3] Lawley, H.G. (1974), "Operability studies and hazard analysis", Chem. Eng. Progr., 70 (4), 45-56.
- [4] "Guidelines for Hazard Evaluation Procedures", AIChE, New York, 1985.
- [5] Ciarambino I., Scarrone M., Piccinini N. (1991), "Quantitative Operability Analysis: a study of a Pressure Regulating Installation on a city mains", proc. Int. Conf. Probabilistic Safety Assessment and Management, Feb. 4-7, 1991 Beverly Hills, G. Apostolakis ed., Elsevier, New York 625-630.
- [6] Piccinini N, Scarrone M. and Ciarambino I., "Operability analysis as a tool for an easy construction of logic trees", European Meeting on Chemical Industry and Environment, Girona 2-4 June 1993, J. Casal ed., UPC, 187-200.
- [7] Piccinini N, Scarrone M. and Ciarambino I., "Probabilistic analysis of transient events by an event tree directly extracted from operability analysis", J. Loss Prev. Process Ind., 1994, 1 (7) 23.
- [8] Piccinini N., "Operability analysis as a tool for fire risk evaluation", EuroFire '95, Nimes, 25-27 March 1995, in "Fire Engineering and Emergency Planning", Barham R. Ed., pg. 293-300, E & FN Spon, London, 1996.

[1] Deviazione	[2] Cause possibili	[3] Conseguenze	[4] Segnalazioni (Ottiche / acustiche)	[5] Mezzi protettivi (automatici)	[6] Note	[7] TE
2. Alta temperatura	1. Eccessiva quantità di calore fornito	2. Altissima temperatura		4. Interruttore di alta temperatura		
2. Altissima temperatura	2. Alta temperatura	2. Olio in ebollizione	Olfattivo		L'olio può essersi degradato	
2. Olio in ebollizione	2. Altissima temperatura	Incendio localizzato (danni modesti)	5. Rilevatore di fumo			1
Incendio localizzato (danni modesti)	2. Olio in ebollizione	Incendio generalizzato (gravi danni)		6. Sprinkler		2
1. Eccessiva quantità di calore fornito	3. Termostato bloccato chiuso *	2. Alta temperatura				

* Evento primario

Tabella 1. Analisi di operabilità

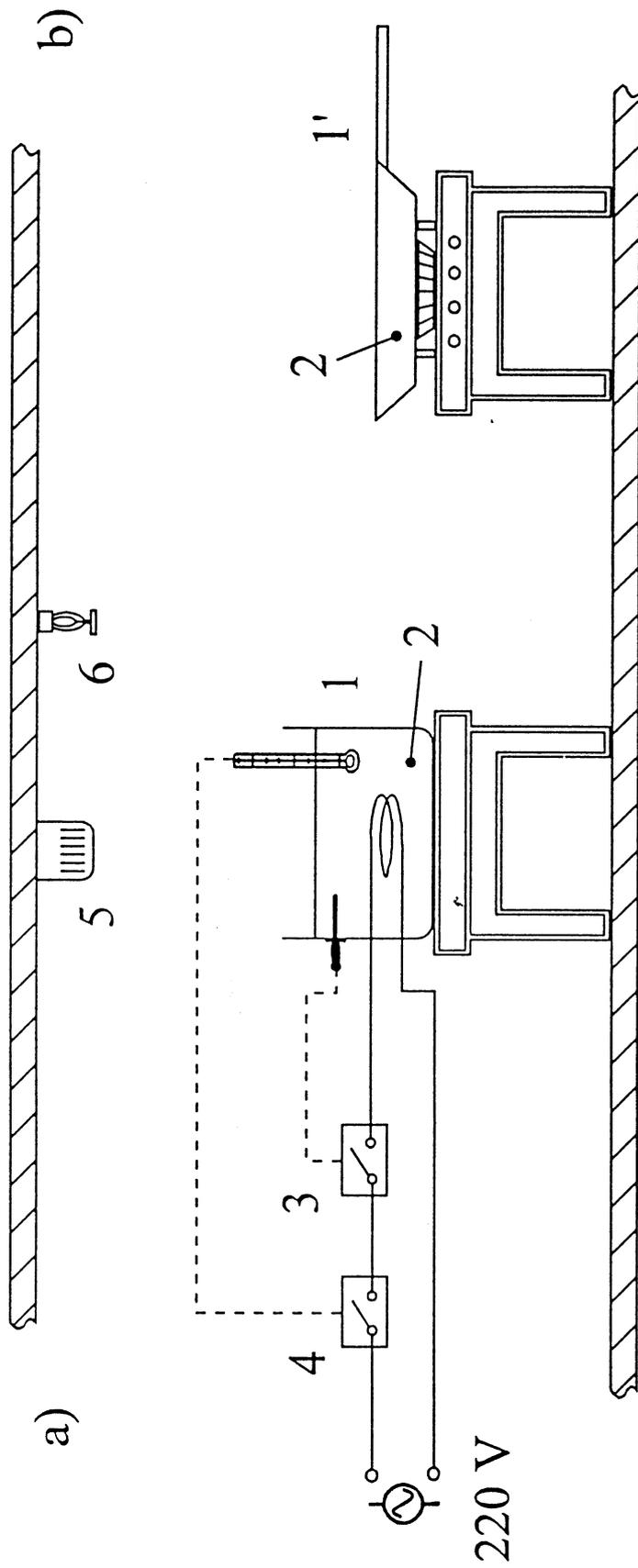
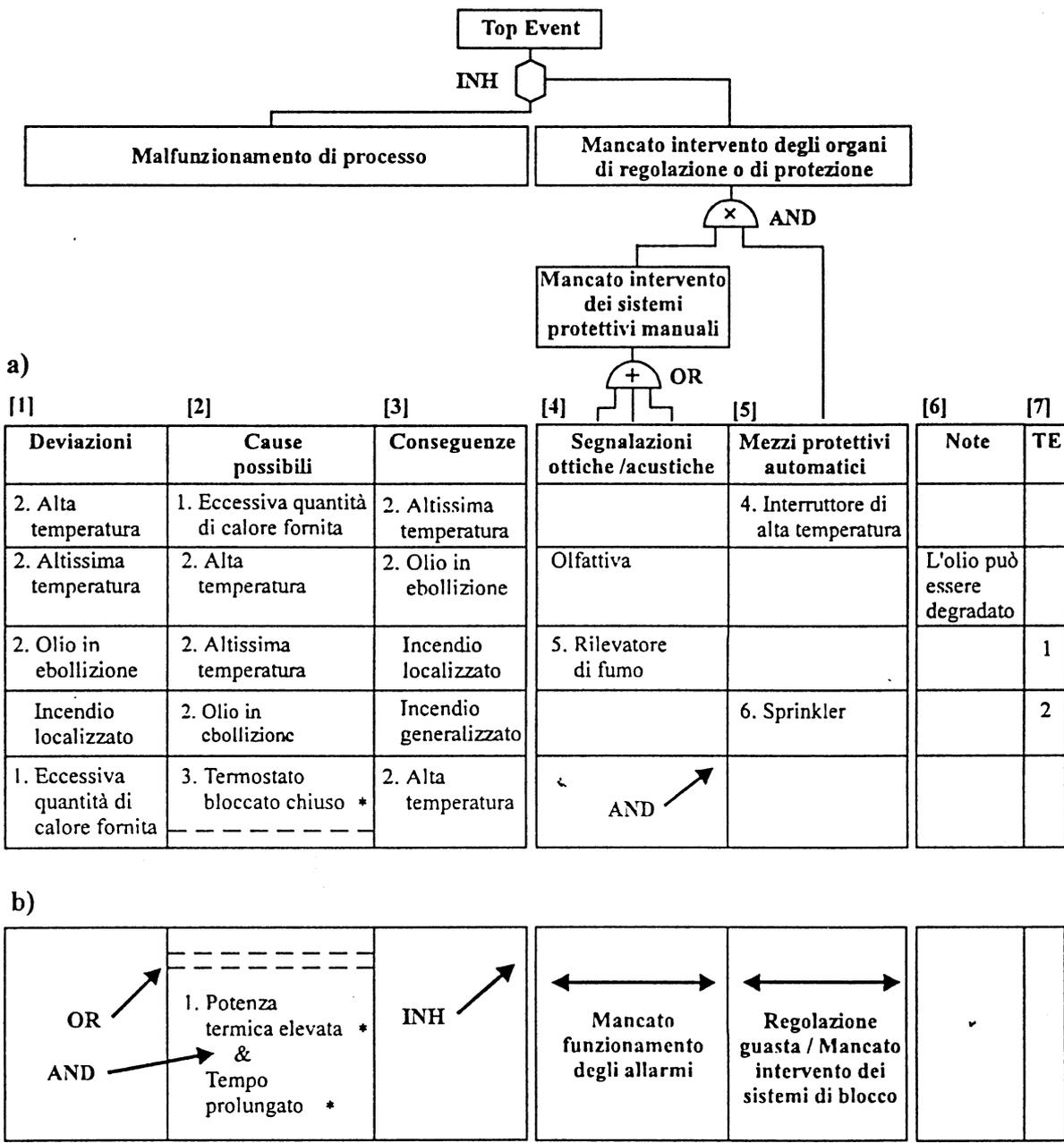


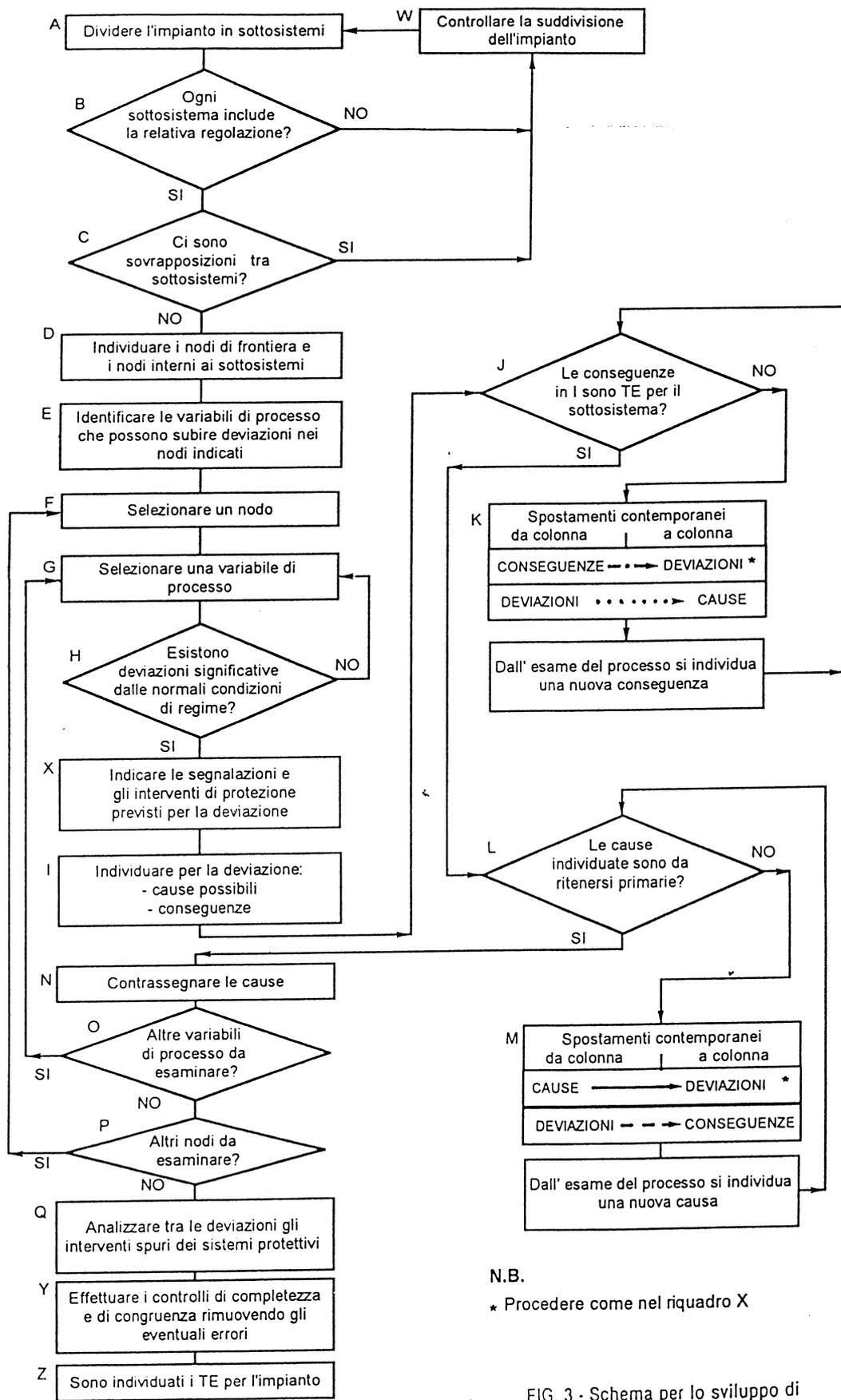
Figura 1 - Schema dell'impianto:

1, Friggitrice elettrica; 1', Friggitrice a gas; 2, Olio; 3, Termostato; 4, Interruttore per alta temperatura; 5, Rilevatore di fumo; 6, Sprinkler



* Evento primario

Figura 2 - Legami logici nella costruzione di una Analisi di Operabilità e parte terminale di un Albero dei Guasti



N.B.
* Procedere come nel riquadro X

FIG. 3 - Schema per lo sviluppo di un'Analisi di Operabilità.

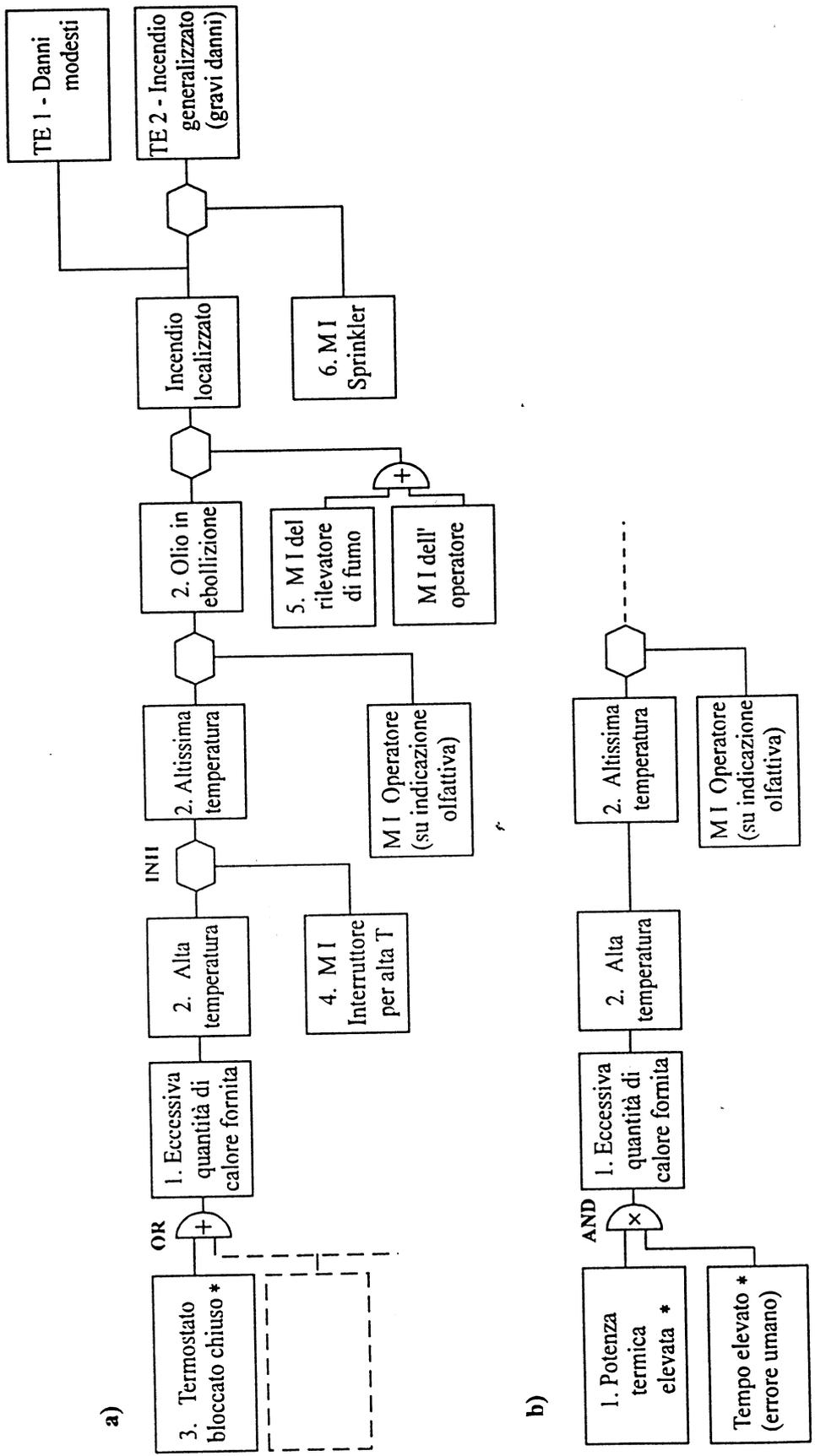


Figura 4 - Diagramma delle Sequenze Incidentali

MI = Mancato intervento

EVENTI INIZIATORI (PRIMARI)	MEZZI PROTETTIVI				CONSEGUENZE
	Interruttore per alta temperatura	Operatore (su indicazione olfattiva)	Rilevatore di fumo e operatore	Sprinkler	
3. Termostato bloccato chiuso *					Impianto fermo
	2. Altissima temperatura				Impianto fermo (olio degradato)
		2. Olio in ebollizione			Danni modesti
			Incendio localizzato		Incendio generalizzato (gravi danni)
					TE 1
					TE 2

Figura 5 - Albero degli eventi nel caso della friggitrice elettrica.

