

# Applicazione del metodo FMEA per la valutazione di affidabilità delle strutture

## Application of FMEA method for assessment of reliability of structures

Maurizio Nicolella\*, Claudio Scognamillo\*

\* Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università degli Studi di Napoli Federico II, Piazzale V. Tecchio 80, 80125, Napoli, mail: [maurizio.nicolella@unina.it](mailto:maurizio.nicolella@unina.it); [claudio.scognamillo@unina.it](mailto:claudio.scognamillo@unina.it)

**Abstract** Negli ultimi anni sono stati proposti diversi metodi finalizzati ad approfondire il tema del degrado e dell'affidabilità dei componenti edilizi<sup>1</sup>, con lo scopo principale di prevenire deficit prestazionali in generale, e soprattutto guasti impreveduti ed improvvisi in particolare. Questo topic rappresenta un elemento di forte competitività nel panorama delle professioni e dell'imprenditoria, e viene a trovarsi in perfetta sintonia con il trend palesemente manifestato dal quadro normativo, particolarmente nel campo delle strutture. Una delle metodologie che è possibile applicare per la verifica dell'adeguatezza di un componente alle sue specifiche prestazionali, e che appartiene al campo del Risk Management, è FMEA, un acronimo inglese che in italiano viene usualmente tradotto come "analisi dei modi potenziali di guasto". Questa metodologia analizza un progetto dal punto di vista della sua affidabilità prima che questo venga portato in attuazione e tradotto in pratica. Per consentire tale verifica vengono preventivamente analizzati i componenti sotto forma di disegni, specifiche tecniche, flussi, informazioni, norme, capitolati, ecc., ovvero tutti gli elementi che di fatto costituiscono la documentazione del lavoro da effettuare e le conoscenze disponibili sull'argomento. Molte sono state le applicazioni di FMEA ai diversi componenti edilizi, ed è da ritenersi di particolare interesse – alla luce della recrudescenza di eventi sismici dell'ultimo decennio, ma anche del palesarsi di difetti strutturali anche di una certa gravità – un utilizzo proprio nel campo delle strutture, di notevole attualità nel periodo in cui ci si interroga sulla possibilità di adeguamento del patrimonio edilizio rispetto agli eventi sismici, ma ci si pone anche il problema delle modalità e criteri della inevitabile ricostruzione di quanto non c'è più. Nel presente articolo viene proposta una esemplificazione applicata ad una struttura in conglomerato cementizio

---

<sup>1</sup> cfr., ad esempio: UNI 11156-2; *Stochastic, deterministic, statistical and artificial intelligence based models to predict the service life of rendered facades*, Silva, A., Gaspar, P. L. and Brito, J; *Rating building asset degradation with efficiency indexes*, Re Cecconi, F., Dejacco, M. C. and Maltese, S, entrambi in XII DBMC Proceedings, S. Paolo del Brasile, 2014.

armato, dalla quale è possibile evincere gli item di maggior criticità e le modalità di prevenzione di eventi negativi.

**Abstract** In the last years several methods have been proposed, aimed to explore the theme of degradation and reliability of building components, with the main purpose of preventing performance deficits in general, and especially from sudden and unforeseen faults. This topic is an element of strong competitiveness in the world of professionals and business, and fits with the trend clearly demonstrated by the regulatory framework, particularly in the field of structures.

One of the methods that can be used to assess the suitability of a component to its performance specifications, and which belongs to the field of Risk Management, is FMEA, (Failure Modes and Effects Analysis). This methodology analyzes a project from the point of view of its reliability before it is carried out and realized. To allow this verification the components are firstly verified in the form of drawings, technical specifications, flow-charts, information, standards, etc. that are all the elements that make up the documentation of the work to be performed and the knowledge that is available on the subject. There have been many applications of FMEA on building components, and it is of particular interest - considering the recrudescence of seismic events of the last decade, but also the emergence of structural defects, even of a certain gravity – for the use in the field of structures. This is of a considerable relevance in a period when there are issues about the possibility of adaptation of the real estate to earthquakes, but it also raises the argument of the modalities and the criteria leading the inevitable reconstruction of what no longer exists. In this article an example of application to a reinforced concrete structure is shown, from which it is possible to notice the most critical items and the modalities for preventing negative events.

Keywords: FMEA; affidabilità delle strutture; Risk Management.

## 1. Introduzione

Nello sviluppo delle fasi di un processo edilizio, accade troppo spesso che le migliori aspettative che accompagnano l'ideazione di un edificio, subiscano poi un ridimensionamento dell'efficacia dei risultati a causa del manifestarsi di una serie di errori e difetti di varia natura. Ciò si concretizza sostanzialmente con sintomi di degrado o con guasti imprevedibili riconducibili direttamente ad errori od omissioni durante la fase di progetto, errori di esecuzione o scostamenti immotivati dal progetto durante la fase esecutiva, errori in fase di gestione o manutenzione.

Ne derivano deficit prestazionali dell'edificio e/o delle sue parti, a volte prima ancora di iniziare ad assolvere alle proprie funzioni.

Una delle metodologie che possono essere impiegate al fine di verificare l'adeguatezza di un componente alle sue specifiche prestazionali, e di prevenire i

rischi conseguenti ad errori riconducibili alle fasi di progetto/processo è rappresentata dalla FMEA, acronimo inglese traducibile come “analisi dei modi potenziali di guasto” o “analisi dei modi e degli effetti dei guasti”. Si tratta di un modello previsionale incentrato sulla stima del rischio di non funzionamento dell’organismo edilizio o di un suo componente, ed è indirizzato alla individuazione di tutti i possibili guasti che potrebbero manifestarsi durante la sua vita utile a causa di errori progettuali e/o esecutivi, al fine di prevenirli o comunque di mitigarne gli effetti.

Nel campo strutturale, l’applicazione di tale metodologia può costituire uno strumento molto interessante in un’ottica di valutazione dell’affidabilità e di prevenzione rispetto al concretizzarsi di difetti strutturali, specialmente alla luce di quanto osservato in occasione degli ultimi eventi sismici.

In questo lavoro si propone l’applicazione della metodologia nella fase di progettazione ad una struttura in conglomerato cementizio armato, focalizzando l’attenzione in particolare su un elemento costruttivo (il pilastro), analizzando in questo modo le criticità potenzialmente generatrici di guasti e le azioni correttive più appropriate per evitarle.

## **2. Caratteristiche e fasi di FMEA**

La metodologia FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), come è noto, ha lo scopo di analizzare preliminarmente un processo, prodotto o sistema, dal punto di vista dell’affidabilità che questo sia in grado di garantire, al fine di identificarne le modalità di guasto, analizzarne gli effetti ed identificare le soluzioni per evitarne il riprodursi.

La FMEA consente quindi di individuare le cause fondamentali di tutti i possibili guasti e di intervenire preventivamente con azioni correttive, in funzione della probabilità che si verifichi o meno il guasto, della gravità dei suoi effetti ed anche della diagnosticabilità di questi.

Gli obiettivi principali dell’analisi sono riassumibili come segue:

- 1) identificare le potenziali modalità di guasto durante il ciclo di vita;
- 2) definire gli approfondimenti e le verifiche da effettuare;
- 3) fissare le priorità degli interventi;
- 4) individuare le azioni correttive e gli interventi con le relative responsabilità;
- 5) documentare le scelte eseguite.

Il processo si basa principalmente sulla possibilità di scomporre il sistema complesso in sistemi semplici (componenti) e legami (interazioni) esistenti tra essi; ed ancora di ricomporre il quadro operativo di azioni correttive come somma di tutte le soluzioni definite dall’analisi eseguita sugli elementi singoli. In questi termini, viene avvalorata la definizione secondo cui l’affidabilità di un sistema risulta essere la somma dell’affidabilità delle parti che lo compongono e delle interazioni che queste si scambiano reciprocamente fra di loro o con gli elementi esterni al sistema stesso.

L'esecuzione dell'analisi FMEA viene condotta attraverso le seguenti fasi:

Analisi Qualitativa: è l'analisi di tutti i potenziali modi di guasto, associati alle loro cause ed effetti.

Analisi Quantitativa: in questa fase i tre elementi analizzati (modo di guasto, causa ed effetto) vengono presi in considerazione associandovi un giudizio di valore su criteri predefiniti, su una scala di valori da 1 a 5, utilizzando lo standard della norma militare americana MILD - STD - 1629A e della normativa SAE JI 739 (Potential Failure and Effects Analysis for Design) che permette di calcolare un indice di priorità del rischio (RPN), come prodotto dei seguenti fattori:

*Occurrence*: frequenza con cui una determinata causa di guasto si manifesterà;

*Severity*: gravità della peggiore conseguenza potenziale;

*Detection*: facilità con cui un guasto può essere rilevato.

Tale indice, con valori compresi tra 1 e 125, esprime la criticità complessiva di una "failure" alla luce della gravità del suo effetto, della probabilità che ha di verificarsi e della facilità con cui si riesce a diagnosticarla. In altri termini, il RPN stabilisce quanto possa essere pericoloso un potenziale evento.

Fase correttiva: Dopo aver opportunamente ordinato le modalità di guasto secondo il RPN, è necessario che vengano decise le azioni correttive al fine di permettere un maggiore controllo e investigazione delle cause in esame.

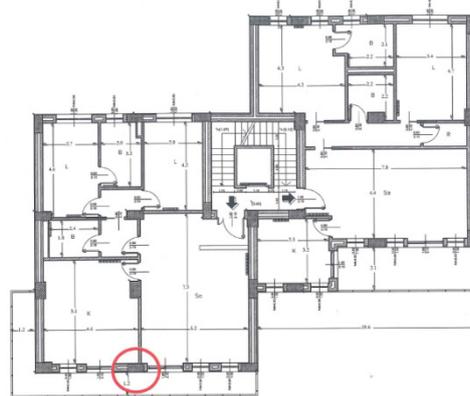
La metodologia FMEA permette quindi di acquisire una visione generale ed esaustiva di tutti gli scenari di degrado a cui potrebbe essere soggetta l'opera edilizia durante la sua vita utile. Attraverso un'analisi sistematica dell'organismo edilizio ripartito nelle sue componenti fondamentali, permette dunque di ricavare informazioni indispensabili per una programmazione della manutenzione, fornendo un quadro completo dei potenziali scenari di degrado che potrebbero portare l'organismo edilizio ad uno stato di non funzionamento; quest'ultimo può essere riconducibile alle diverse fasi del processo edilizio, ovvero:

- fase decisionale: problemi determinati da incompatibilità chimico- fisiche o meccaniche di materiali e/o prodotti accostati fra loro;
- fase esecutiva: problemi indotti da guasti manifestatisi durante le fasi di trasporto, stoccaggio e posa in opera dei componenti edilizi.
- fase gestionale: problemi dovuti al degrado dei prodotti utilizzati (utilizzo scorretto).

### **3. Metodologia FMEA applicata ad una struttura in conglomerato cementizio armato: analisi dell'elemento costruttivo pilastro**

Il presente lavoro riguarda l'applicazione della metodologia FMEA ad una struttura intelaiata in conglomerato cementizio armato, riferendo lo studio ad un elemento ritenuto particolarmente rappresentativo: il pilastro. Si è potuto, infatti

osservare nel corso degli interventi di risanamento strutturale degli ultimi decenni, come esso sia interessato da una ricorrenza particolarmente elevata di difetti di esecuzione e di patologie di degrado. A tal fine si è analizzato come caso studio un pilastro al primo ordine di un edificio per civile abitazione, posto all'esterno (Fig. 1), con esposizione ad ambiente cittadino, in prossimità del mare.



**Fig. 1- Localizzazione del pilastro oggetto di analisi**

### ***3.1 Caratterizzazione della soluzione tecnica e delle condizioni ambientali***

Il primo step per l'applicazione dell'analisi FMEA è quello di caratterizzare la soluzione tecnica attraverso gli elementi funzionali di cui essa è costituita. Tale operazione si basa sull'individuazione di tutti i componenti del prodotto e delle loro caratteristiche, nonché dell'ambiente in cui lo stesso può essere posto.

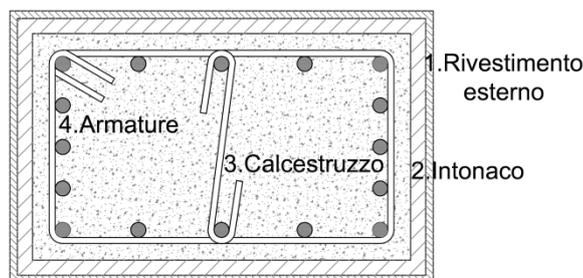
Lo studio della soluzione tecnica individuata è stato eseguito quindi mediante una dettagliata analisi relativa a morfologia, topologia delle relazioni con gli altri componenti e composizione merceologica degli elementi costitutivi: nella figura 2 la rappresentazione schematica della sezione del pilastro con gli elementi costituenti il sistema tecnologico.

Un ulteriore step fondamentale per la definizione dei potenziali scenari di degrado è la determinazione degli agenti sollecitanti che, in accordo con la definizione di agente fornita dalla norma UNI 8290-3:1987, possono essere classificati nelle seguenti categorie: a) agenti naturali; b) agenti artificiali; c) agenti dovuti alla concezione dell'edificio; d) agenti dovuti all'utilizzo degli edifici.

Allo scopo di identificare gli agenti presenti nell'ambiente interno e quello esterno, sono state redatte apposite tabelle sulla base di modelli forniti dalla su richiamata Norma UNI e dalla ISO 6242 non riportate per motivi di brevità.

E' il caso di sottolineare come per l'elemento prescelto assume particolare importanza il quadro degli agenti sollecitanti. In particolare:

- Per quanto riguarda gli agenti naturali, il calcestruzzo è ormai da anni scelto dal progettista in funzione dell'ambiente, secondo le classi di cui al prospetto 1 della norma UNI 11104:2004, con le adeguate considerazioni sul prospetto 4 per quanto riguarda rapporto A/C, minima classe di resistenza; minimo contenuto di cemento; contenuto % in aria; aggregati; tipo di cemento.
- Sarebbe, poi, buona norma che anche le caratteristiche della finitura e dell'intonaco fossero determinate non solo rispetto a prestazioni di natura prevalentemente estetica, ma anche valorizzando il contributo che essi possono fornire in termini di durabilità del calcestruzzo oltre che di sé stessi.
- Per quanto riguarda le altre classi di agenti, non sembra inutile evidenziare la necessità di ogni più adeguata considerazione di agenti meccanici (quali peso, forze di diversa natura, vibrazioni, energia cinetica), agenti elettromagnetici (come l'irraggiamento), agenti termici (come ad esempio il cosiddetto shock termico), agenti chimici (come l'acqua, in particolare se veicola agenti aggressivi), e agenti biologici (quali i microrganismi).



**Fig. 2 – Scomposizione funzionale schematica del pilastro per la individuazione degli elementi da inserire nella colonna 1 della tabella di analisi qualitativa (item/function)**

### ***3.2 Analisi funzionale***

L'analisi funzionale ha l'obiettivo di comprendere come si comporta la soluzione tecnica attraverso i suoi elementi, deputati ciascuno allo svolgimento di determinate funzioni: il modello così definito permette di comprendere accuratamente il comportamento del sistema a fronte degli agenti sollecitanti.

Pertanto è stata eseguita una prima divisione funzionale che si identifica direttamente con la divisione fisica del sistema in componenti o sotto-sistemi. Sono state utilizzate tre tabelle, dette List of Functions, che corrispondono a:

- Funzioni utente (Fu): corrispondenti ai requisiti essenziali per i quali il prodotto è realizzato e che soddisfano direttamente le esigenze dell'utente finale;
- Funzioni tecniche (Ft): che permettono al singolo componente edilizio di arrivare a svolgere le funzioni utente;
- Funzioni fondamentali (Ff): funzioni che garantiscono in ogni caso il soddisfacimento di vincoli primari, quali la conformità.

### ***3.3 Analisi processuale***

Dopo la FMEA di Progetto, ovvero quell'analisi eseguita sul componente della progettazione descritto da disegni, prototipi, processi, componenti ed interazioni, così come è stato concepito e definito dal progettista, lo step successivo concerne la FMEA di Processo, ovvero quell'analisi condotta sui processi tecnologici che si intendono mettere in pratica per realizzare il manufatto e sull'individuazione dei potenziali problemi che si manifestano in fase di esecuzione.

Evidenziate le fasi esecutive:

0: Stoccaggio materiali; 1: Posa delle casseforme e getto del cls; 2: Presa ed indurimento del cls; 3: Posa in opera dell'intonaco; 4: Posa in opera dello strato di rivestimento e finitura, vengono poi identificate per ognuna di esse le criticità connesse ai diversi errori possibili già in fase di progettazione con gli effetti che si ripercuotono sull'elemento oggetto di analisi.

### ***3.4 Analisi qualitativa***

Quella dell'analisi qualitativa rappresenta la fase più caratterizzante della metodologia; essa si propone l'obiettivo di identificare gli scenari di degrado (es. fessurazioni, alterazioni cromatiche), le cause (es. shock termici, inquinamento), le conseguenze (es. effetti su stabilità, permeabilità).

Il degrado di un elemento, come visto, non comporta necessariamente il non funzionamento dell'intero sistema tecnologico, ma potrebbe determinare cambiamenti strutturali e quindi sollecitazioni inattese negli strati successivi; di conseguenza, vengono determinati non solo i degradi relativi ai diversi componenti, ma soprattutto gli scenari dei degradi che potrebbero determinare nel corso del tempo la crisi dell'intero sistema. Quest'analisi è di tipo iterativo e consente di determinare una lista di tutti i potenziali scenari che conducono il pilastro in c.a. in una condizione di non funzionamento, ed anche – naturalmente – di evidenziare le azioni correttive verificandone l'efficacia in termini di diminuzione di RPN.

Sono state redatte quattro tabelle, ciascuna riferita ai quattro elementi del sistema (strato di finitura, intonaco, calcestruzzo, armature metalliche): nella figura 3 si riporta quella relativa al calcestruzzo.

### ***3.5 Event Driven Graph***

Ultimo step fondamentale per completare l'analisi FMEA è la determinazione degli agenti presenti nel contesto ambientale in cui si trova l'elemento oggetto di analisi; attraverso l'elaborazione dell'Event Driven Graph è possibile ottenere un quadro completo di tutti i possibili scenari di degrado causati dagli agenti indivi-

duati nella fase precedente, che possono portare nel tempo il sistema verso uno stato di degrado e/o di guasto.

ELEMENTO	FUNZIONE	MODALITÀ POTENZIALI DI GUASTO	EFFETTI POTENZIALI DEL GUASTO	SEVERITY	CAUSE POTENZIALI DEL GUASTO	OCCURRENCE	NOMINALI CONTROLLI DI PROGETTO	DETECTION	RPN	AZIONI/ACCOMODATE	SEVERITY	OCCURRENCE	DETECTION	RPN
<b>CALCESTRUZZO</b>	elemento strutturale composto da cemento, inerti grossi e fini, ed acqua, che ha la funzione di sopportare le sollecitazioni di compressione indotte dai carichi gravitazionali e e/o lacune con [C25/30]	fessurazioni	ossidazione armature metalliche	5	errore rapporto a/c	4	controllo del mix design	2	40	Il D.L. deve essere attentamente valutato in relazione alle condizioni ambientali durante la fase di getto utilizzo di una tipologia di cemento non esotermica per contenere la produzione di calore in fase di presa e indurimento della pasta controllo della esatta posizione delle armature nelle casseforme	4	2	1	8
			ridotte caratteristiche meccaniche											
			Incremento degli incrementi del tempo sotto carico costante (fluage)	3	condizioni di esercizio diverse da quelle previste in fase progettuale	2	verificare la conformità delle caratteristiche dei materiali con i requisiti durante l'esecuzione	5	30	Il progetto esecutivo deve tenere in considerazione le reali condizioni termogravitazionali in relazione alla destinazione dell'edificio monitorare gli spostamenti e gli eventuali quadri stress/strain strutturali durante la vita utile dell'opera	1	1	2	2
			Incremento delle vibrazioni indotte da carichi dinamici		Inadeguato dimensionamento fessurazioni									

Fig. 3 – Analisi qualitativa per il calcestruzzo

Nella figura 4 si evidenzia, a titolo di esempio, come la sola penetrazione di acqua al di sotto degli strati superficiali (finitura, intonaco e copriferro) possa costituire l'innesco di un processo di degrado che può portare alla crisi strutturale dell'elemento. L'analisi di questo schema, unitamente alla When & Why Matrix, porta alla individuazione delle fasi critiche e della loro successione, ma anche delle cause che più frequentemente presidono ai guasti, rappresentando così un momento fondamentale per la identificazione delle azioni correttive da attuare.

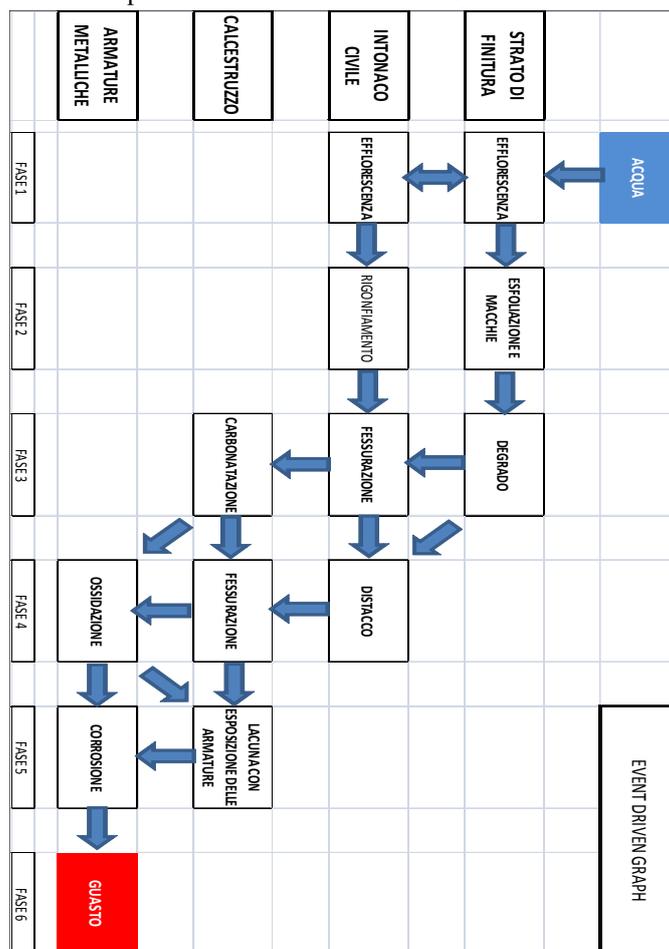


Fig. 4 Event Driven Graph relativo alla penetrazione di acqua

Nell'esempio di figura 3 le azioni correttive che consentono di diminuire sensibilmente i valori di RPN (40-8; 30-4; 30-2) sono:

- la valutazione delle condizioni ambientali nello specifico periodo meteorologico di svolgimento dei getti, anche in riferimento al contesto microclimatico;

- l'utilizzo di un cemento non esotermico per contenere la produzione di calore in fase di presa e indurimento;
- la programmazione di controlli di particolare severità in relazione a necessità di additivi, posizione delle armature nelle casseforme, fase di spandimento-vibrazione-costipamento, maturazione post getto, monitoraggio in fase di esercizio.

#### 4. Discussione e conclusioni

Dalla Criticality Matrix, che per brevità non si riporta, si rileva che i casi di altissima criticità (very high criticalities), caratterizzati da massimi punteggi dei due parametri di Severity e Occurrence, sono quelli che si manifestano di più rispetto agli altri casi (v. Fig. 5).

COMPONENTE	FAILURE MODE	SEV./OCC.
Rivestimento	Distacco, umidità	4/5
Intonaco	Disgregazione, fessurazione	5/4
Calcestruzzo	Degrado nel tempo	4/4
Armature metalliche	Ossidazione	4/3

Fig. 5

Come si può notare da questa tabella, i casi di maggiore criticità dei guasti possono riguardare più del 90% dei componenti che costituiscono il pilastro e di conseguenza possono indurre al non funzionamento globale dell'elemento stesso.

Un ulteriore aspetto molto importante che emerge dall'analisi FMEA riguarda le probabili cause ed il momento in cui si verificano i guasti per ogni singolo componente del pilastro in cemento armato. Questi dati consentono di avere un quadro generale circa tutti i guasti che hanno origine dalla fase di progettazione del sistema oppure dalla fase del progetto esecutivo o ancora durante la fase di post-installazione del componente.

Inoltre, grazie alla redazione della When & Why Matrix (Fig. 6), che consente la valutazione del "quando" e del "perché" si verificano i guasti, si è potuto osservare come la maggior parte dei guasti (circa il 25%) e dei difetti possono derivare già da una sbagliata progettazione iniziale del pilastro. Un'alta percentuale dei guasti (circa il 20%) si verifica durante la fase di fabbricazione, in stabilimento oppure in cantiere, dei singoli componenti costituenti il pilastro, come ad esempio un'errata composizione e miscelazione del calcestruzzo, oppure una errata proporzione di tutti i componenti necessari alla realizzazione degli intonaci.

Ancora, circa il 15% dei guasti che possono verificarsi sono dovuti ad errori nella fase di posa in opera, che comprende diverse attività: realizzazione delle casseforme, posizionamento delle armature, spandimento, vibrazione, costipamento, disarmo. Ulteriori guasti critici del pilastro (circa il 15%) sono poi dovuti all'umidità, ovvero proprio l'agente di cui alla Fig. 4, che appare particolarmente critico soprattutto perché presente in qualunque contesto.

Infine, circa il 15% dei guasti sono dovuti alle sollecitazioni che insistono sul pilastro (meccaniche, termiche, chimiche, cicli di gelo/disgelo e shock termici) ed in ultimo circa il 10% sono dovuti alle radiazioni solari.

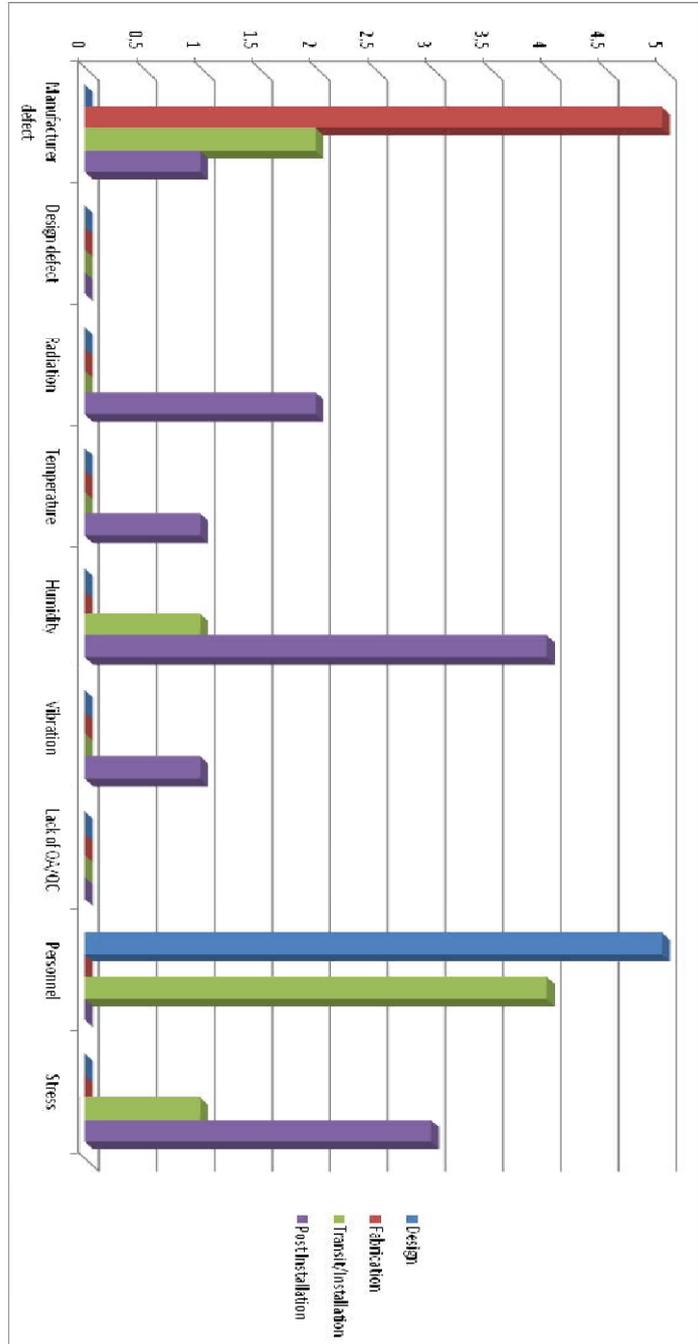


Fig. 6 – When & Why Matrix

In conclusione, la conoscenza del fenomeno che può condurre il componente edilizio al guasto consente da un lato di risalire al difetto generatore e più in generale alle cause e agli errori commessi da determinati operatori del processo edilizio a partire dal guasto stesso, dall'altro di identificare i criteri per la messa a punto soluzioni idonee a riportare il sub-sistema sui livelli di prestazione programmati, attraverso una disattivazione preventiva dei fattori di disturbo.

Ne consegue che le indicazioni fornite dall'analisi delle priorità di rischio spingono da un lato verso una migliore allocazione delle risorse, in maniera tale che si possano prevenire in maniera più efficiente i rischi, dall'altro a migliorare le condizioni organizzative che riguardano la progettazione edilizia, il tutto finalizzato ad ottenere nel tempo una migliore gestione della qualità edilizia.

## Bibliografia

1. Baldi C., Sanvito M. (2001) Le gestione della qualità nel processo edilizio, UNI – Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano
2. Bazzi C. (2004) Le valutazione sperimentale della durabilità dei componenti edilizi, degree tesi, Polytechnic of Milan, BEST Department
3. Chiarini A., Vicenza M. (2014) Strumenti statistici avanzati per la gestione della qualità. Affidabilità, FMEA, FTA, SPC, DOE, Franco Angeli Editore, Milano
4. Daniotti B. (2003) La durabilità in edilizia, Cusl, Milano.
5. Di Giulio R. (2003) Manuale di Manutenzione Edilizia, Maggioli, Rimini
6. Ebeling C. E. (1997) An Introduction to Reliability and Maintainability in Engineering, McGraw-Hill Companies, Boston
7. Fadlovich E. (2007) Performing Failure Mode and Effects Analysis, Embedded Technology
8. Fedele L., Furlanetto L., Saccardi D. (2004) Progettare e gestire la manutenzione, McGraw-Hill, Milano
9. Gottfried A. (2003) La qualità edilizia nel tempo, Hoepli Editore, Milano
10. Lair J., Chevalier J. L. (2002) Failure Mode Effect and Criticality Analysis for Risk Analysis (design) and Maintenance Planning (exploitation), Brisbane
11. Lannutti C. (2001) Controllo della qualità tecnico prestazionale del componente edilizio, Gangemi, Roma
12. Maggi P. N. (1994) Il processo edilizio (vol. I) Metodi e strumenti di progettazione edilizia, CittàStudi, Milano
13. Manfron V. (1995) Qualità ed affidabilità in edilizia, Angeli, Milano
14. McDermott R., Mikulak R. J., Bearegard M. (2008) The Basics of FMEA, CRC
15. Molinari C. (2002) Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia, Ed. Sistemi Editoriali, Napoli
16. Morabito G., Nesi, A. (2000) Valutare l'affidabilità in edilizia. Sistemi e casi di studio, Gangemi, Roma
17. Nicoletta M. (2000) Affidabilità e durabilità degli elementi costruttivi in edilizia, CUEN, Napoli
18. Nicoletta M. (2003) Programmazione degli interventi in edilizia, Ed. UNI, Milano.
19. MIL-STD-1629A (1980) Procedures for performing a failure mode effect and criticality analysis

20. SAE (2008): Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA)
21. UNI 11156 (2006) Valutazione della durabilità dei componenti edilizi
22. UNI 7867/2 (1978) Edilizia. Terminologia per requisiti e prestazioni. Specificazione di prestazione, qualità ed affidabilità.
23. Nunziata V. (2014) Teoria e pratica delle strutture in cemento armato, Dario Flaccovio Editore, Palermo
24. Pollo R. (1990): Affidabilità, qualità, manutenzione: concetti, strumenti e modelli per la manutenzione edilizia, Ed. Libreria Cortina, Torino
25. Talon A., Lair J., Boissier D. (2003) Failure Mode Effect and Criticality Analysis to improve the quality of building products and processes, International Workshop on "Management of Durability in the Building Process", Milan
26. Talon A., Boissier D., Chevalier J. L., Lair, J. (2004) A methodological and graphical decision tool for evaluating building component failure, Toronto
27. Tartari, R. (2008) L'analisi dei rischi per la qualità e per l'ingegneria, Franco Angeli Editore, Milano
28. Torricelli M. C., Mecca S. (1996) Qualità e gestione del processo nella costruzione, Alinea, Firenze