

# INTERVENTI STRUTTURALI E NON STRUTTURALI PER L'ADEGUAMENTO SISMICO DEGLI OSPEDALI ESISTENTI. DUE CASI DI STUDIO DI OSPEDALI IN TOSCANA RISOLTI CON L'APPROCCIO A SISTEMA

Camillo Nuti<sup>1</sup>, Ivo Vanzi<sup>1</sup>, Maurizio Ferrini<sup>2</sup>

1. Dipartimento di Progettazione, Riabilitazione e Controllo delle Strutture Architettoniche, Università "G. d'Annunzio" di Chieti, Viale Pindaro 42, 65127, Pescara, [c.nuti@pricos.unich.it](mailto:c.nuti@pricos.unich.it), [i.vanzi@pricos.unich.it](mailto:i.vanzi@pricos.unich.it)

2. Regione Toscana, [m.bacci@mail.regione.toscana.it](mailto:m.bacci@mail.regione.toscana.it)

## INTRODUZIONE

I criteri per adeguare gli ospedali esistenti dai punti di vista sismico, così da conferire un sufficiente livello di sicurezza per lo stato limite di occupazione immediata, dipendono in maniera sostanziale dal layout dell'ospedale. I criteri possono essere molto diversi a seconda del caso esaminato, anche per ospedali con caratteristiche simili, ad esempio stesso numero di letti o stesso anno di costruzione. Questo è dovuto a diverse cause, la più frequente delle quali è la presenza di edifici diversi all'interno dello stesso ospedale per venire incontro a nuove esigenze di utilizzo.

Un criterio razionale per stimare la sicurezza e progettare l'intervento di adeguamento sismico su un ospedale è quello di considerare l'ospedale come sistema di componenti diversi; definito lo schema logico, i metodi dell'affidabilità strutturale consentono di identificare quali tra i componenti ha più influenza sulla sicurezza del sistema. La fattibilità e l'efficienza del metodo è stata già illustrata in applicazioni precedenti, ad esempio [Monti G., Nuti, C., 1996]. E' comunque di interesse presentare i casi di due ospedali con le stesse dimensioni e con la stessa pericolosità sismica per i quali, al fine di giungere ad una sicurezza accettabile, sono necessari interventi estremamente diversi.

## METODOLOGIA

L'ospedale è considerato funzionante dopo un evento sismico se almeno una delle camere operatorie è in grado di assolvere alla sua funzione. Possono essere individuati criteri diversi da quello utilizzato, sebbene quest'ultimo sembra quello più importante dopo un evento sismico.

I passi da eseguire per la stima della sicurezza sismica sono i seguenti:

- a. Identificazione della logica del sistema dopo aver ordinato i sistemi in serie ed in parallelo.
- b. Riduzione dello schema di funzionamento dell'ospedale ai suoi cut-sets, cioè riordinamento dei componenti in uno schema in serie di elementi in parallelo
- c. Identificazione del valor medio e della varianza della resistenza per ciascun componente; stima del valor medio e della varianza dell'azione (per semplicità le densità di probabilità delle variabili aleatorie sono assunte in questo lavoro distribuite normalmente)

In questo modo è possibile individuare i cut sets critici. L'intervento di adeguamento si potrà quindi concentrare su questi elementi. Si noti che se un componente, pur avendo una

fragilità molto alta, fa parte di un cut-set non critico, ed è quindi in parallelo con elementi di maggior resistenza, il componente stesso non sarà adeguato.

Al variare dell'intensità sismica si ricava la curva di fragilità del sistema. Alle diverse intensità, l'importanza relativa dei cut-sets del sistema cambia e quindi il livello a cui il controllo affidabilistico viene fatto influenza sia il numero dei componenti da adeguare (come è ovvio) che la loro priorità.

## **PRIMO CASO DI STUDIO: L'OSPEDALE DI FIVIZZANO**

Sono stati esaminati due ospedali: quello di Castelnuovo Garfagnana a quello di Fivizzano. Sono posti nella parte nord della Toscana, in una zona di moderata sismicità. Hanno inoltre dimensioni simili, tra 100 e 200 posti letto, dimensione tipica per gli ospedali in Italia. In entrambi i casi, precedentemente allo studio, era stato effettuato un intervento di adeguamento sismico convenzionale, alla sola parte strutturale, controllando che, per il cemento armato, la resistenza strutturale fosse sufficiente a sopportare alle tensioni ammissibili un'accelerazione alla base di  $0.07g$ , e che per la struttura in muratura fosse raggiunta un'adeguata resistenza limite. Il fine del miglioramento non strutturale era di ottenere un rischio accettabile di fuori servizio dell'ospedale. L'ospedale di Fivizzano è composto da nove edifici, cfr. fig. 1, ed è descritto in tabella 1. Gli edifici sono in cemento armato o in muratura, di periodo dal 1926 al 1974.

# AZIENDA USL N 1 MASSA e CARRARA – STABILIMENTO DI FIVIZZANO

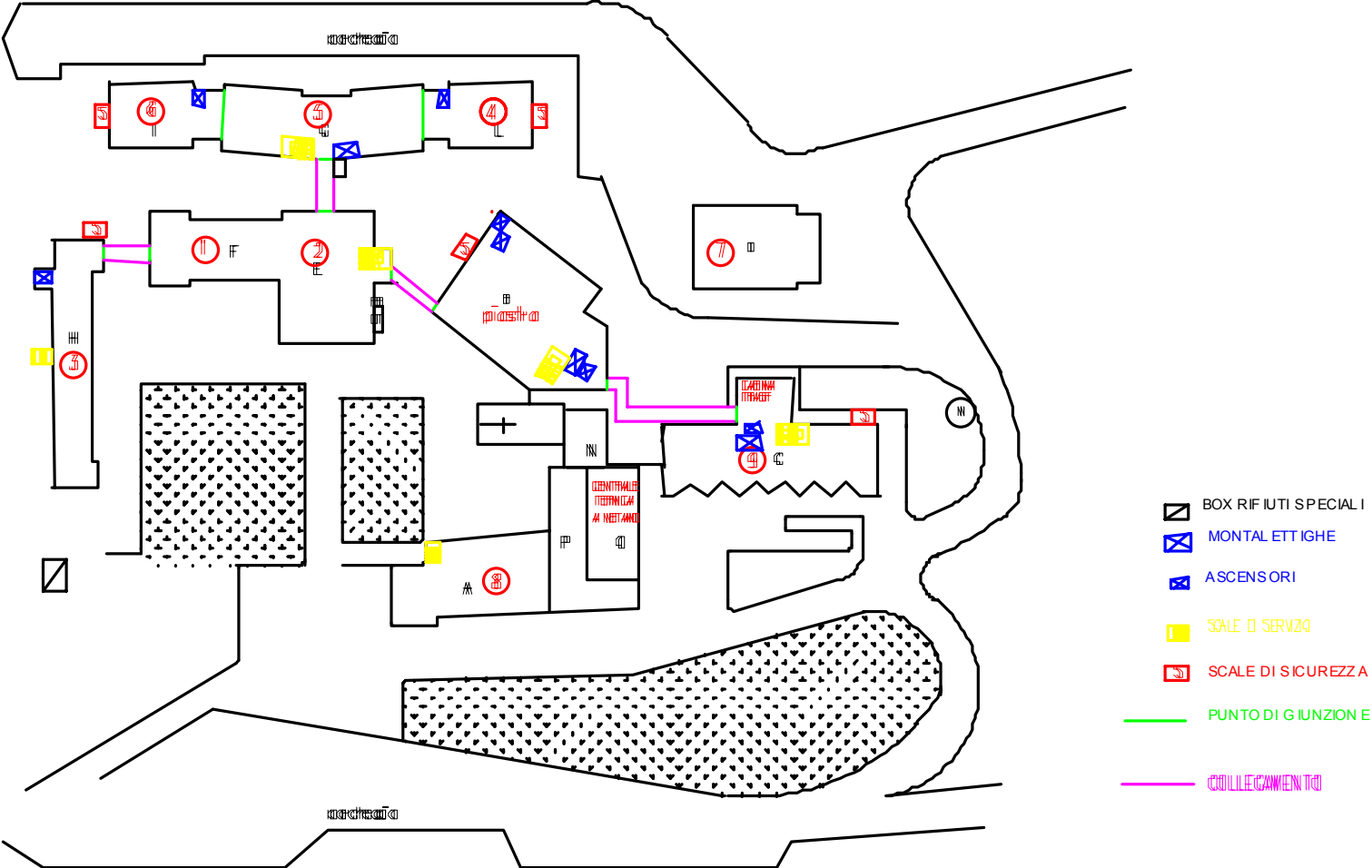


Figura 1-Pianta dell'ospedale di Fivizzano

Edificio	Materiale	Dimensioni	Anno costr.	Destinazione del piano
1	misto 1a: muratura 1b: c.a.	1: 18m x 24m x 3 piani @ 3.5m	1a: 1926 1b: 1972	1: Magazzino(p1) Trasfusioni(p2)
2	muratura	9.5m x 22.7m x 3 piani @ 4 m	1926	ùmensa(p1) analisi(p2) c.o.+trasfusioni(p3)
3	muratura	8.4m x 41.2m x 2 piani @ 4m	1926	In ristrutturazione
4	c.a.	4 piani	1974	Lavanderia(p1) Ortopedia(p2) Chirurgia(p3) Ginecologia(p4)
5		3 piani		
6	c.a.	4 piani	1974	Cucina(p1) Ortopedia(p2) Chirurgia(p3) Ostetricia(p4)
7		1 piano		Farmacia(p1)
8	c.a.	(10.5m x 9.4m)+(12.9m x 19.5m) x 3 piani @ 3.3m	1974	Ambulatori(p1) Uffici(p2) Uffici(p3)
9	c.a.	(11.8m x 36.2m)+(9m x 9.75m) x 6 piani @ 3.5 m	1972	Magazzino(p1) Ambulatori(p2) Medicina(p3) Medicina(p4) Pneumologia(p5) Tisiologia(p6)

Tabella 1.- Edifici e loro destinazione nell'ospedale di Fivizzano

La logica di funzionamento delle camere operatorie è mostrata nella Figura 2 e nella Figura 3

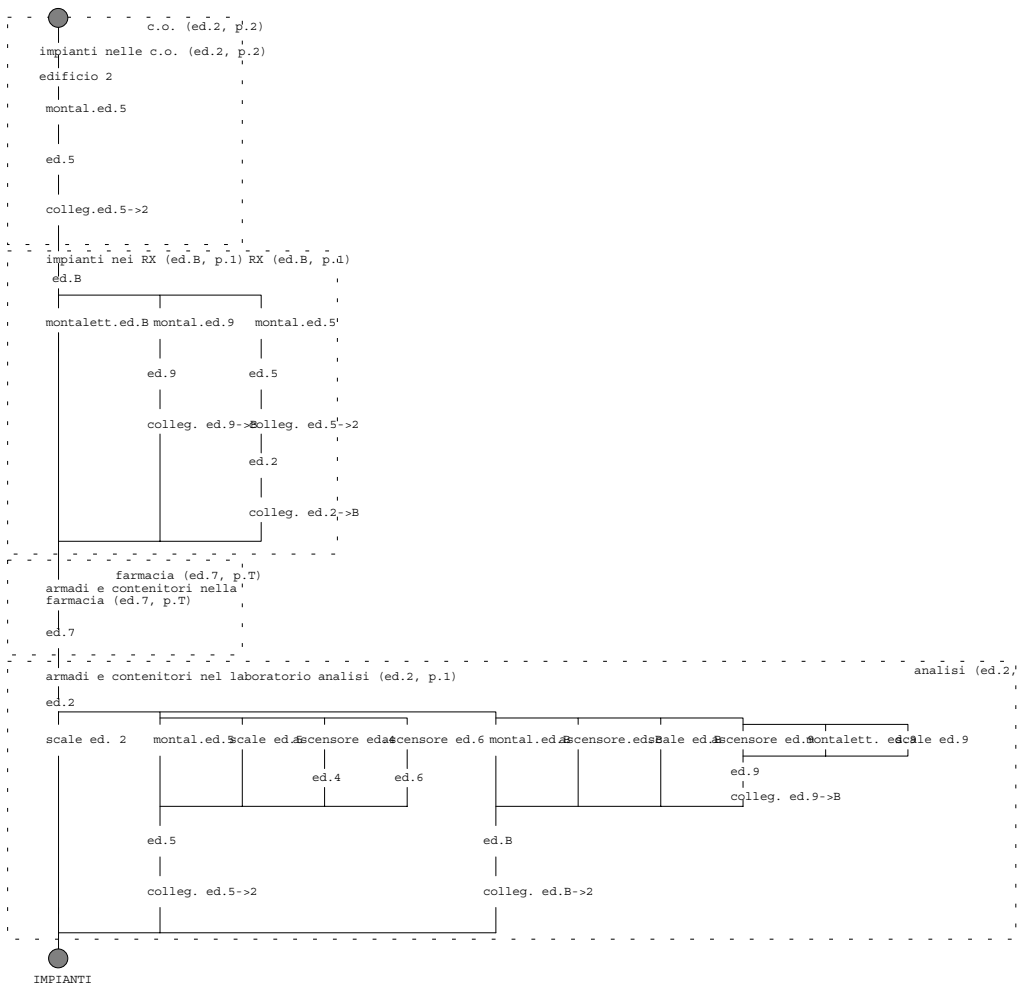


Figura 2: cut sets per l'ospedale di Fivizzano. I dettagli relativi agli impianti sono forniti nella Figura 3

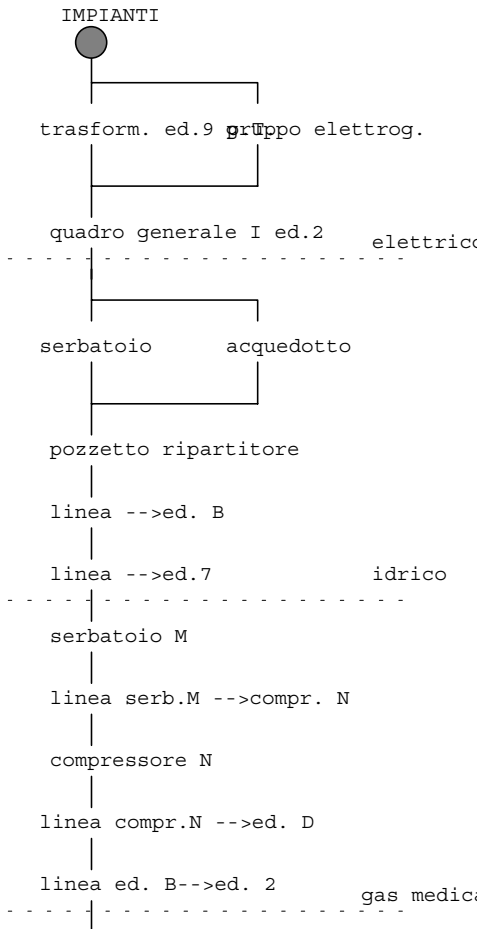


Figura 3 –Cut sets relativi agli impianti in Figura 2

Dalla fig. 2 si deduce che il sistema può ridursi sostanzialmente a cinque macro elementi posti in serie: camere operatorie, radiologia, laboratorio analisi, farmacia, impianti essenziali. Ciascuno di questi è dettagliato a livello diverso, ad esempio perché le camere operatorie funzionino devono funzionare alcune montatighe, edifici e collegamenti tra gli edifici.

Lo schema logico può essere riorganizzato nella rappresentazione con i cut – sets minimi, tabella 2. Si noti che molti di questi sono composti da un singolo componente. La fragilità complessiva, figura 4 (a sinistra) è alta rispetto alla pericolosità locale, riportata in figura 4 (a destra). Un considerevole numero di cut – sets hanno rischio superiore a 0.5, con un terremoto con picco di accelerazione di 0.1g (cfr. tabella 3).

Sono stati scelti tre tipi di intervento: (A) adeguamento degli impianti attraverso il controventamento di elementi non strutturali; (B) adeguamento dell'edificio 2 in cui sono contenute le camere operatorie e il laboratorio analisi; (C) adeguamento dei rimanenti elementi fragili.

cut-set	Componente 1	Componente 2	Componente 3
1	Edificio 2		
2	Montalet.ed.5		
3	Edificio 5		
4	Coll. Ed.5->2		
5	Edificio B		
6	Edificio 7		
7	Quadro gen. I		
8	Pozzetto		
9	Lin.acqua ->B		
10	Lin.acqua ->7		
11	Serbatoio M		
12	Lin. Gas M->N		
13	Compress.N		
14	Lin.Gas N-> D		
15	Lin.gas B->2		
16	Trasf. Ed.9	Gruppo elettr.	
17	Serbatoio	Acquedotto	
18	Montalet.ed.B	Montalet.ed.9	Coll. Ed.2->B
19	Montalet.ed.B	Edificio 9	Coll. Ed.2->B
20	Montalet.ed.B	Coll. Ed.9->B	Coll. Ed.2->B
21	Imp. camere op.		
22	Imp. nei raggi X		
23	Contenit. farmacia		
24	Contenit. I.analisi		

Tabella 2. Minimi Cut set dell'ospedale di Fivizzano

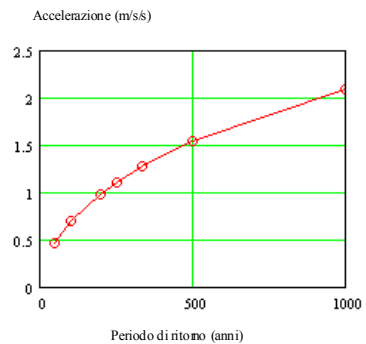
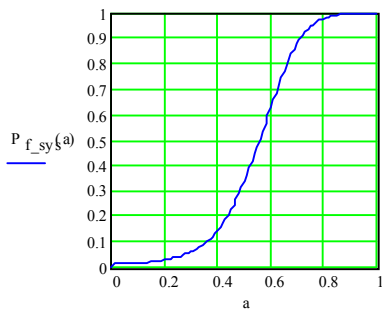


Figura 4. Fivizzano. Probabilità di collasso del sistema (sinistra). Curva di pericolosità sismica (destra)

importanza	Cut set N.	Nome	Tipo di collasso	Strategia di intervento
1	24	Impianti laboratorio analisi	ribaltamento	A
2	3	Edificio 5	Collasso strutturale	C
3	4	Collegamento edifici 5-2	Collasso non strutturale	C
4	21	Impianti camere operatorie	ribaltamento	A
5	1	Edificio 2	Collasso strutturale	B
6	7	Quadro elettrico generale	ribaltamento	A

Tabella 3 Cut sets con probabilità di collasso maggiori di 0.5 per  $p_{ga}=0.1g$ ; strategie di intervento

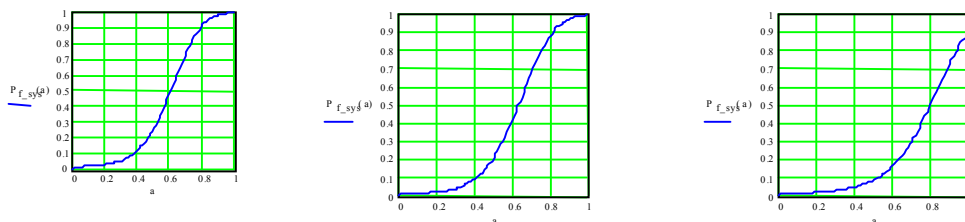


Figura 5. Fivizzano. Curve di rischio dopo l'adeguamento A (a sinistra), B (al centro) e C (a destra)

La riduzione del rischio a seguito dell'applicazione della strategia A è considerevole; se si richiede tuttavia, ulteriore incremento di sicurezza è necessario porre in atto la strategia C. La strategia B, non apportando significativi benefici rispetto ad A, è invece inefficace. Infatti, prendendo in considerazione l'accelerazione con 50 anni di periodo di ritorno (p.g.a. di 0.47g) le probabilità di collasso senza adeguamento e con le strategie A, B e C sono rispettivamente pari a 0.27, 0.197, 0.172 e 0.078.

## SECONDO CASO DI STUDIO: CASTELNUOVO GARFAGNANA

L'ospedale di Castelnuovo Garfagnana è composto da 11 edifici costruiti nel periodo dal 1949 al 1988.

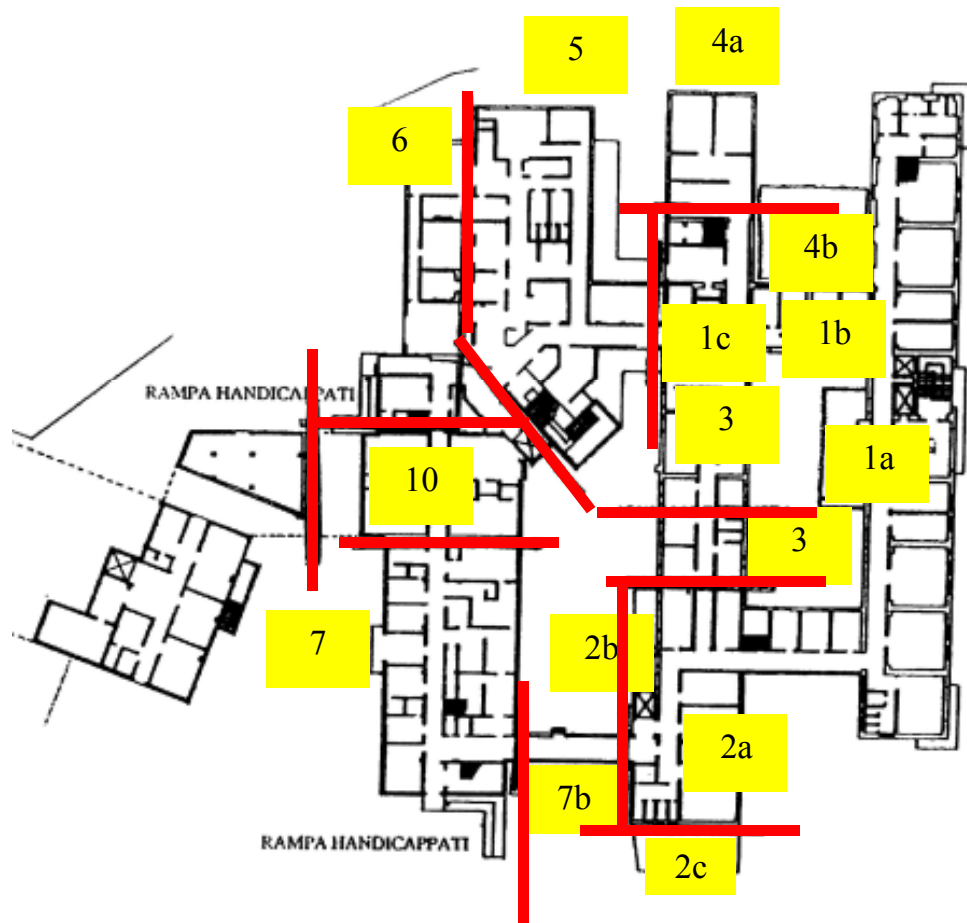


Figura 6 Pianta dell'ospedale di Castelnuovo

edificio	materiale	n. piani	anno realizzazione	destinazione
1a	muratura	3	1949	
1b	muratura	3	1949	
1c	muratura	3	1949	
1d	muratura	1	1949	
2a	c.a.	3	1960	Emodialisi
2b	c.a.	3	1960	Emodialisi
2c	c.a.	3	1960	Emodialisi
3	c.a.	4	1981	Radiologia
4a	c.a.	4	1972	Radiologia
4b	c.a.	1	1972	Radiologia
5a	c.a.	3	1972	Pronto soccorso
5b	c.a.	1	1976	Pronto soccorso
5c	c.a.	1	1976	Pronto soccorso
6	c.a.	2	1982	Sale operatorie
7a	c.a.	2	1977	Pediatria
7b	c.a.	2	1977	Pediatria
8	c.a.			Poliambulatorio
9	c.a.			Poliambulatorio
10	c.a.	2	1988	Ostetricia, ginecologia
11	c.a.	2	1988	Ostetricia, ginecologia

Tabella4 Ospedale di Castelnuovo. Edifici e funzioni

Gli edifici contigui sono separati da giunti strutturali. Le due camere operatorie sono nell'edificio 6 al piano terra. La logica delle camere operatorie è data in tabella 5 ed è estremamente più semplice di quella dell'ospedale di Fivizzano.

componente	Valor medio della resistenza (m/s/s)	Coefficiente di variazione della resistenza	Componente in serie (S) o in parallelo (P)
1 medical gases	1	0.25	S
2 generator	1.5	0.25	P
3 electric feeding	0.5	0.15	P
4 lift in building 1c	1.2	0.25	S
5 X rays	1.2 (2.0*)	0.25	S
6 X rays building	0.6 (1.1*)	0.25	S
7 analysis laboratory	0.8 (1.2*)	0.25	S
8 pharmacy	1.32	0.25	S
9 lift in building 10	1.3	0.25	S
10 operating theaters 1	1.2	0.25	P
11 operating theaters 2	1.2	0.25	P

Tabella 5 Logica di funzionamento dell'ospedale di Castelnuovo. I componenti 2 e 3 sono in parallelo. I componenti 10 e 11 sono in parallelo.

La vulnerabilità del sistema è mostrata in Figura 7. Per 0.047 g (periodo di ritorno di 50 anni) la probabilità di collasso è già di 0.27; in seguito all'adeguamento C questa diminuisce a 0.09. Questo adeguamento consiste semplicemente nel controventare gli impianti del laboratorio analisi e della radiologia, e in un adeguamento modesto dell'edificio radiologia per ridurre la danneggiabilità dei tamponamenti.

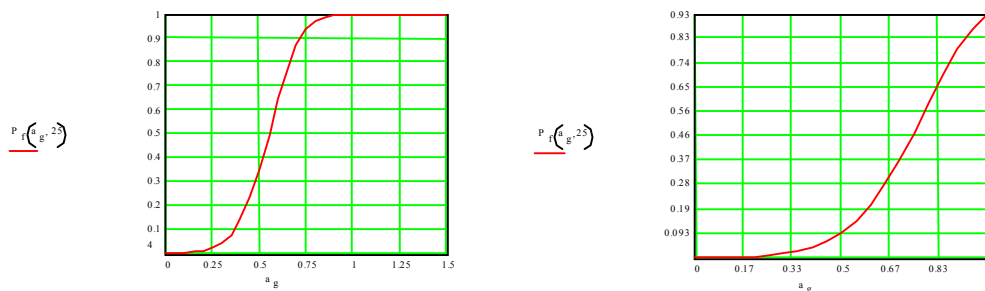


Figura 7 Castelnuovo. Vulnerabilità funzionale prima (a sinistra) e dopo (a destra) l'intervento di adeguamento

## CONCLUSIONI

Sono stati illustrati due esempi di adeguamento sismico per lo stato limite di funzionalità per ospedali esistenti. Si è visto che il semplice adeguamento strutturale lascia l'ospedale estremamente vulnerabile per questo stato limite.

L'analisi della struttura come sistema si è dimostrata uno strumento estremamente efficace per determinare gli elementi da adeguare al fine di raggiungere un'accettabile sicurezza post - sisma. Si è anche visto che, in dipendenza del layout dell'ospedale, sono necessarie strategie di intervento molto diverse per raggiungere livelli di affidabilità simili; un intervento di adeguamento

generalizzato può, in questi casi, risultare invece inutilmente dispendioso e potrebbe rivelarsi inutile.

In uno dei casi esaminati, infatti, quello di Castelnuovo, l'adeguamento strutturale al livello richiesto è semplice ed economico mentre il caso di Fivizzano è più complesso e costoso.

E' opinione degli autori che gli ospedali dovrebbero comunque essere adeguati a livelli di sicurezza più alti di quelli considerati qui. Nei due casi particolari esaminati, l'intervento di adeguamento sismico era già stato effettuato e non era compreso nello studio. In un caso generale, l'intervento va condotto considerando sia l'adeguamento strutturale che quello non strutturale, ricordando che edifici così strategici dovrebbero in ogni caso poter operare nell'emergenza pot – sisma.

## **BIBLIOGRAFIA**

Monti, G., Nuti, C., 1996. A procedure for assessing the functional reliability of hospital systems. *Structural Safety*, Vol.18.No.4 pp 277-292,

Nuti, C., Vanzi, I., 1998, "Ospedale di Fivizzano. Studio metodologico sulla valutazione della fragilità funzionale." DSSAR, Università degli Studi G. D'Annunzio, Rapporto di Convenzione, Luglio

Nuti, C., Vanzi, I., 1998, "Ospedale di Castelnuovo Garfagnana. Studio metodologico sulla valutazione della fragilità funzionale." DSSAR, Università degli Studi G. D'Annunzio, Rapporto di Convenzione, Marzo

## **Ringraziamenti**

La ricerca è stata parzialmente finanziata nel progetto EV5V CT93-0297HOPE della Commissione Europea, Directorate General XII per la Scienza, Ricerca e Sviluppo, Ambiente e Clima (Climate and Natural Hazards Unit, A.Ghazi, Division Head, M. Yeroyanni, Scientific Officer). Parte dello studio è stato sviluppato con il contributo del GNDT, contratto 98.03232.PF54, e della Regione Toscana: contratto "Valutazione della sicurezza sismica in relazione alla perdita di funzionalità degli ospedali della Garfagnana e Lunigiana, a seguito di un evento sismico", 1998.