



XXXIV Convegno Nazionale: “INGEGNERIA E IMPIANTISTICA ITALIANA”

OSPEDALE E TERREMOTO?

L'INFLUENZA DELL'ADEGUAMENTO EDILIZIO NELLA RISPOSTA DEL SERVIZIO SANITARIO NAZIONALE IN SITUAZIONI DI EMERGENZA

Giorgio Lupoi, Giuseppe Lupoi

Studio Speri Società di Ingegneria, L.go Tevere delle Navi 19, 00196 Roma

ABSTRACT

Nell'ultimo decennio le istituzioni preposte alla salvaguardia della vita dei cittadini, quali ad esempio la Protezione Civile, hanno mostrato un'attenzione crescente riguardo alla preparazione all'emergenza sismica. Attenzione testimoniata sia dall'emanazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni, sia dalla predisposizione di risorse economiche per “*la realizzazione di interventi infrastrutturali, con priorità per quelli connessi alla riduzione del rischio sismico*” delle opere strategiche.

Gli ospedali sono tra i principali oggetti di quest'azione di mitigazione in quanto:

- (a) sono fondamentali per garantire una risposta pronta ed efficace alle esigenze della popolazione colpita;
- (b) sono particolarmente vulnerabili come dimostrato dalle passate esperienze (Friuli 1976, Campania-Basilicata 1980, Umbria-Marche 1997).

Ma come è possibile limitare l'impatto di un evento così drammatico, come un evento sismico?

È possibile mitigare gli effetti del terremoto solo attraverso una progettazione dell'adeguamento che non deve limitarsi ai soli elementi strutturali ma deve considerare la risposta dell'ospedale come il risultato più complesso dell'interazione delle sue tre componenti fondamentali la *componente materiale* (strutture, elementi non strutturali e attrezzature), la *componente umana* (il personale medico) e la *componente organizzativa* (responsabile di definire i protocolli di cura in funzione delle risorse disponibili).

È pertanto necessario ricorrere ad un approccio condiviso tra gli esperti di pianificazione ospedaliera, di matrice formativa medica, e gli esperti tecnici, le cui competenze ricadono invece nell'ambito ingegneristico.

Il presente studio raccoglie e sintetizza i risultati di alcune esperienze professionali, compiute all'interno di questo quadro generale, per illustrare le problematiche più comuni e le possibili strategie di mitigazione del rischio per le strutture ospedaliere. Nel particolare si illustrano:

- le diverse soluzioni tecniche possibili: dal semplice rinforzo degli elementi strutturali in cemento armato alle più innovative tecnologie basate sull'inserimento di elementi esterni, quali controventi dissipativi o isolatori elastomerici;
- le problematiche connesse all'implementazione delle varie soluzioni per il mantenimento della funzionalità dei servizi medici (impianti, attrezzature, ...).

Infine si presenta sinteticamente una metodologia adottata con successo nella pratica per la valutazione della risposta e per la progettazione delle più appropriate strategie di mitigazione. La metodologia consiste in un approccio per fasi in grado di adattarsi alla complessità di un sistema così complesso come quello ospedaliero.

1 INTRODUZIONE

Nell'ultimo decennio in Italia le istituzioni preposte alla salvaguardia della vita dei cittadini, quali ad esempio la Protezione Civile, hanno sempre mostrato un'attenzione riguardo alla preparazione all'emergenza sismica. L'impatto socio-economico dei recenti terremoti che hanno colpito il nostro Paese, unitamente ai notevoli progressi nel campo dell'ingegneria sismica, hanno portato a intraprendere una decisa azione di mitigazione del rischio sismico attraverso l'emanazione delle nuove

norme tecniche per le costruzioni e la predisposizione di risorse economiche per “la realizzazione di interventi infrastrutturali, con priorità per quelli connessi alla riduzione del rischio sismico” delle opere strategiche.

Gli obiettivi di questa azione di mitigazione sono duplici:

- da un lato minimizzare l'impatto economico di un evento sismico attraverso l'introduzione di regole di costruzione più severe;
- dall'altro di minimizzare l'impatto sociale garantendo la funzionalità dei servizi essenziali attraverso la definizione di obiettivi prestazionali più stringenti per le opere strategiche.

La riduzione del rischio sismico dei sistemi ospedalieri rientra in questa seconda categoria. Si ricorda infatti che l'ospedale è il terzo ed ultimo anello della catena dei soccorsi, che inizia sul campo con la fase di *recupero e raccolta* dei feriti, prosegue con il *trasposto* e termina con l'accettazione del paziente all'interno dell'ospedale, dove quest'ultimo si aspetta di ricevere una cura definitiva in relazione alle patologie. All'importanza della funzione di assistenza si contrappongono l'intrinseca vulnerabilità, dimostrata nei passati terremoti ed imputabile all'elevata complessità che li caratterizza, e l'elevata esposizione, dovuta all'affollamento, alla presenza di pazienti non autonomi, ai contenuti tecnologici e potenzialmente pericolosi.

Alla luce delle considerazioni sopra riportate, questo studio si propone di: a) definire un modello rappresentativo del sistema ospedale nel suo complesso, ovvero un modello che tenga statisticamente conto di tutti i fattori che influenzano la risposta del sistema in caso di evento sismico; b) identificare i parametri in grado di definire quantitativamente la capacità di risposta del sistema ospedale; c) definire ed applicare una metodologia semplice in cui siano adeguatamente considerate e rappresentate tutte le componenti del sistema in esame.

L'analisi del “sistema ospedale” e la sua risposta ad un evento catastrofico sono brevemente illustrate nel paragrafo 2. Nel paragrafo 3 si riporta una breve *review* delle passate esperienze, della bibliografia sull'argomento e delle ultime realizzazioni che introducono moderni sistemi di protezione sismica. Una procedura per la valutazione della prestazione dell'ospedale è riportata nel paragrafo 4, unitamente ad un esempio di applicazione su di un ospedale reale (Par.5). Le conclusioni sono infine tratte nel paragrafo 6.

2 OSPEDALE & TERREMOTO

2.1 Descrizione del sistema ospedale

Le principali componenti di un sistema complesso sono: *procedure, organizzazione, operatori, parte fisica e contesto*. Questo schema così come applicato al sistema ospedale è mostrato in Figura 1: le procedure sono i servizi medici (diagnostica, chirurgia, pediatria, ...); l'organizzazione sono i protocolli per l'applicazione dei servizi medici, attività svolta dal *management* dell'ospedale; gli operatori sono i dottori, gli infermieri e, più in generale, tutti coloro che svolgono una funzione utile per l'erogazione dei servizi medici all'interno dell'ospedale; la parte fisica è costituita dagli elementi strutturali e non-strutturali; infine, il contesto racchiude tutte quelle influenze esterne che condizionano le altre componenti del sistema (fisica, organizzativa e umana) sia direttamente attraverso caratteristiche quali l'accessibilità all'ospedale, le modalità costruttive e la vulnerabilità degli edifici adiacenti all'ospedale, che indirettamente attraverso il contesto sociale in cui l'ospedale si sviluppa ed opera, i vincoli di natura economica, la preparazione dei medici, etc.. Alcuni di questi fattori possono essere analiticamente quantificati e sono inclusi nell'analisi di vulnerabilità presentata nel seguito; altri possono essere valutati solo attraverso considerazioni di carattere generale.

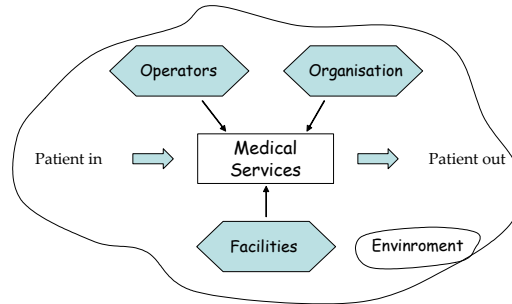


Figura 1. Schema del sistema ospedale

2.2 Risposta del sistema ospedale ad un evento sismico

La risposta di un sistema ospedaliero ad un evento sismico può essere rappresentata attraverso il confronto della domanda e della capacità di assistenza. Diversamente dalle condizioni ordinarie, in cui c'è un sostanziale equilibrio tra domanda e capacità, la situazione di emergenza si caratterizza per il forte squilibrio fra le necessità della popolazione colpita e le risorse disponibili. In questi casi è necessario ricorrere a protocolli di cura diversi da quelli adottati quotidianamente in grado di ottimizzare le risorse disponibili in funzione della domanda di assistenza e delle limitazioni imposte dalle circostanze. Questa necessità ha dato vita alla Medicina delle Catastrofi, il cui scopo è proprio la definizione delle procedure da adottare per massimizzare la risposta in situazioni di emergenza.

In quest'ottica le conseguenze di un evento sismico, o più in generale di un disastro, possono essere suddivise in: (a) quelle che *producono un aumento della domanda di assistenza* (le vittime dell'evento) e (b) quelle che *provocano una riduzione delle risorse* e quindi della capacità di cura del sistema ospedale (danni alle strutture ospedaliere, danni alle linee di distribuzione cui l'ospedale è connesso, ...). In Figura 2 è mostrata qualitativamente l'evoluzione della domanda (*needs*) e della capacità (*capability*) prima e dopo il verificarsi di un evento sismico:

- la domanda rappresenta le necessità della popolazione colpita;
- la capacità è valutata prima dell'evento in accordo agli standard di cura in condizioni ordinarie;
- *a* rappresenta la robustezza del sistema ospedale e dipende dalla vulnerabilità degli elementi strutturali e non-strutturali (componente fisica);
- *b* e *c* rappresentano la rapidità e l'efficienza della risposta del sistema ospedale nell'implementare i protocolli di emergenza e dipendono dalle risorse disponibili (i.e. dalla risposta della componente materiale espressa in *a*) e dalle componenti organizzativa e umana.

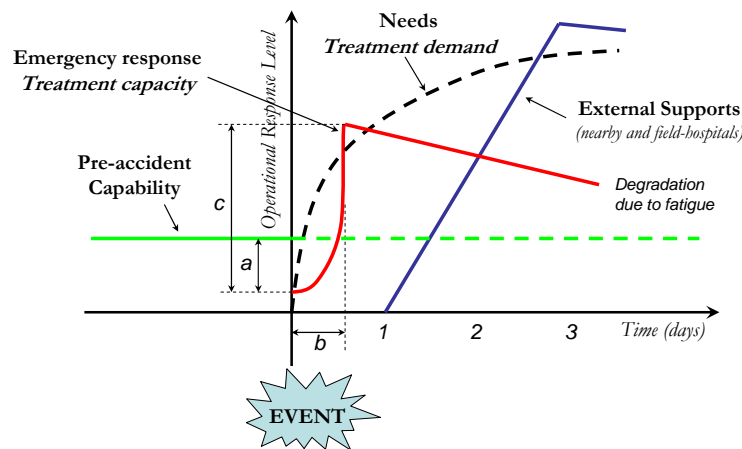


Figura 2. Emergency medical response to an hazardous event (earthquake)

2.3 Parametri di risposta

La missione specifica di un ospedale è quella di assicurare, *in ogni circostanza*, la più appropriata cura ad ogni paziente. Ciò significa che anche in situazioni d'emergenza, siano queste prodotte dall'uomo (incidenti stradali, aerei o ferroviari, crollo di stabili) o da cause naturali (eventi meteorologici di particolare intensità, eventi sismici), la struttura organizzativa di ogni ospedale è *naturalmente* volta a dare risposte positive alle emergenze. Gli obiettivi principali in caso di emergenza sono due:

- la sicurezza delle persone all'interno;
- l'assistenza alle vittime dell'evento calamitoso.

La capacità di un sistema ospedaliero di garantire una risposta **sicura, efficace e competente** per soddisfare gli obiettivi di cui sopra dipende dall'interazione delle tre componenti fondamentali: *l'organizzazione*, che deve pre-definire le procedure in grado di ottimizzare le risorse (umane e materiali) disponibili; *gli operatori*, che devono essere addestrati a prestare servizi di cura nelle situazioni di emergenza; *le strutture fisiche* che devono garantire, oltre alla sicurezza fisica dei pazienti e degli operatori, anche la funzionalità di tutti i principali servizi necessari per l'erogazione delle cure (acqua, energia, etc.).

La risposta di un ospedale può così essere rappresentata tenendo in considerazione tre parametri: due che rappresentino gli obiettivi principali, la sicurezza e la funzionalità, ed uno che rappresenti l'influenza economica:

1. la sicurezza delle persone all'interno, funzione della risposta degli elementi strutturali;
2. la funzionalità dei servizi fondamentali ad assicurare assistenza alle vittime, funzioni di tutte e tre le componenti, fisica, umana e organizzativa;
3. il costo di riparazione dei danni diretti rapportata al valore di costruzione, C_c , funzione della risposta della componente fisica del sistema.

In Figura 3 si riporta uno schema esemplificativo dove i livelli prestazionali vengono rappresentati in funzione dei danni alla componente fisica (suddivisa in elementi strutturali, non-strutturali e contenuto) e dei parametri di risposta appena definiti.

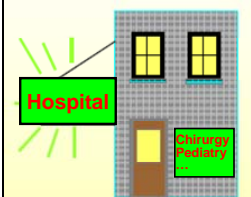
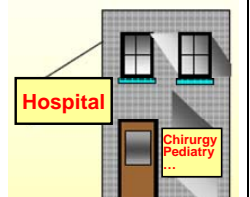
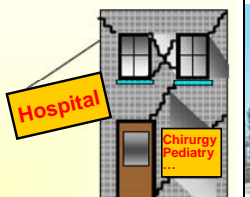

<i>Livello prestazionale</i>	Operativo	Agibile	Stabile	Collasso
<i>Danni strutt.</i>	assenti	lievi	moderati	estesi
<i>D. non-strutt.</i>	assenti	lievi	moderati / estesi	-
<i>D. contenuto</i>	lievi	moderati	estesi	-
<i>Sicurezza</i>	Sì	Sì	Sì	No
<i>Economici</i>	0-10%	10-30%	30-60%	60-100%
<i>Funzionali</i>	Operativo con minimi disagi	Operativo con lievi disagi (giorni)	Non operativo necessarie riparazioni (mesi.)	Non operativo
<i>Stato</i>				

Figura 3. Livelli prestazionali e parametri di risposta di un sistema ospedaliero

3 OSPEDALE E TERREMOTO NEL PASSATO

Le peculiarità dell'evento calamitoso "terremoto" sono diverse da ogni altro evento emergenziale: l'evento sismico è il più invasivo e devastante tra tutti i disastri naturali e la situazione d'emergenza da esso generata è la più complessa da affrontare dal punto di vista della risposta sanitaria.

Le esperienze pregresse hanno insegnato che il sistema ospedaliero è il primo ad andare in crisi in un territorio colpito da evento sismico e che la conseguente insufficiente risposta ospedaliera amplia enormemente il disagio delle popolazioni colpite.

Nel seguito si riportano un'analisi della risposta dei sistemi ospedalieri nel passato (par.3.1), una sintesi delle fonti bibliografiche più rilevanti sia riguardo l'aspetto tecnico/strutturale che quello sanitario (par. 3.2) ed alcuni esempi di recenti realizzazioni di poli ospedalieri dove sono state implementate moderne tecnologie di progettazione antisismica (par.3.3).

3.1 Risposta dei sistemi ospedalieri nei passati eventi sismici

I risultati di diverse ricerche, sia accademiche che istituzionali, sui danni conseguenti agli eventi sismici più rilevanti degli ultimi trenta anni sono riassunti in Tabella 1, dove, per ogni terremoto esaminato, si riporta: (a) il numero di vittime, (b) la stima dei danni in termini economici e (c) la risposta del sistema sanitario, con particolare attenzione alle strutture ospedaliere.

Tabella 1: Conseguenze dei passati terremoti: numero di vittime, danni economici e risposta del sistema ospedaliero

Terremoto	Data	M _w	Morti	Feriti ¹	Danni economici (\$US)	Risposta del sistema ospedaliero
San Fernando (CA,US)	1971, 9 Feb	6.8	65		0.5-1 miliardi	Several hospitals suffered serious damage
Friuli (Italy)	1976, 5 May	6.2	965	2000	2.6 miliardi	The hospital of Gemona suffered partial collapse, while a new one was demolished due to excessive damage
Irpinia (Italy)	1980, 23 Nov	6.8	3000	10000	10 miliardi	
Chile	1985, 3 March	7.8	180	2572 (300)		22 of 79 facilities suffered serious damage. 16.6% of the total beds were lost
Mexico City (Mexico)	1985, 19 Sept	8.1	9500-10000	50000	4 miliardi	5 hospitals collapse, 22 suffered serious damage (of which at least 11 were evacuated). 5829 beds were lost.
San Salvador	1986, 10 Oct	5.4	1500	10000 (1400)	1.2 miliardi	10 hospitals were evacuated and one collapsed. More than 2000 beds were lost.
Loma Prieta (CA, US)	1989, 18 Oct	6.9-7.1	60-70	3000-4000	6-10 miliardi	The medical response was overall good, but there were significant operating problems due to nonstruct. damage
Northridge (CA, US)	1994, 17 Jan	6.7	57	8000-11000	20-40 billion	Good structural response (95% of the examined structures were free of significant damage)
Kobe (Japan)	1995, 17 Jan	7.2	5000-6000	35000	>100 miliardi	Significant number of hospitals reported damage due to inadequate anchorage of non-structural elements
Umbro-Marchigiano (Italy)	1997, 17 Sept	5.8	11	100		Due to the lack of preparedness many hospitals which were later judged usable, were initially evacuated
Kocaeli (Turkey)	1999, 17 Aug	7.4-7.8	17000-20000	50000 (24000)	>30 miliardi	Hospitals, even if damaged, continued to provide emergency care
Chi-Chi (Taiwan)	1999, 21 Sept	7.6	2347	(11300)	1.1 miliardi	More than half of the 165 hospitals in the affected zone have reported damage
Gujarat (India)	2001, 26 Jan	7.5-7.7	20000	166000 (21000)	0.04 miliardi	Many facilities were destroyed
Bam (Iran)	2003, 26 Dec	6.6	40000	25000	>1 miliardi	No health-care facilities has been reported to be functional 50% of the personnel was reported either dead or missing

La risposta del sistema ospedaliero si è quasi sempre dimostrata inefficace in caso di evento sismico. Le varie fonti esaminate concordano nell'individuare due cause principali: l'**inadeguatezza delle strutture**, da un punto di vista fisico, e la **manca nza di procedure efficaci per affrontare il massiccio afflusso di feriti** e valutare correttamente i danni riportati, da un punto di vista organizzativo. Vari studi sottolineano inoltre l'importanza degli **elementi non-strutturali**, in quanto essenziali per erogare senza soluzione di continuità i servizi medici.

Nel dettaglio della realtà Italiana, l'analisi degli ultimi terremoti (Friuli 1976, Irpinia 1980, Umbria-Marche 1997) ha rilevato che i danni subiti dalle strutture sanitarie situate nella zona epicentrale: (1) hanno comportato quasi ovunque alla interruzione del servizio sanitario a favore dei pazienti già ricoverati, la cui sicurezza, anzi, è stata messa a repentaglio nei casi di crollo degli edifici ospedalieri; (2) non hanno permesso di prestare soccorso ai feriti causati dal sisma, (3) hanno richiesto ingenti risorse sia economiche che temporali per essere riparati.

Le principali cause di una risposta così insoddisfacente sono da imputarsi: alla *complessa storia delle strutture ospedaliere* ospitate in prevalenza in edifici storici concepiti per altro uso e quindi non progettati con un adeguato margine di sicurezza; alla *conseguente inadeguatezza* degli edifici a resistere alle azioni sismiche (secondo uno studio del 1997, meno del 50% degli ospedali italiani, nelle zone all'epoca classificate sismiche, era stato in effetti progettato per l'azione sismica); ai *continui ampliamenti* per rispondere alle esigenze quotidiane effettuati senza valutare gli effetti della obsolescenza delle strutture e degli impianti; all'*imperfetta conoscenza* scientifica dei terremoti e del comportamento delle strutture all'epoca della progettazione (come testimoniato dalle numerose modifiche normative degli ultimi anni sia in merito alla classificazione delle zone che alle indicazioni progettuali).

3.2 Fonti bibliografiche

Le diverse fonti sull'argomento sono state suddivise in tre gruppi: (1) i documenti di pianificazione sanitaria, che definiscono le procedure fondamentali da adottare in caso di emergenza; (2) i documenti guida per la progettazione di strutture in zona sismica, (3) I documenti sulla sicurezza ospedaliera che cercano di coniugare l'aspetto sanitario con quello ingegneristico.

3.2.1. Documenti di pianificazione sanitaria

Le fonti normative in tema di pianificazione intraospedaliera per il versante sanitario si compendiano, in ordine cronologico, nelle linee guida del Ministero della Salute sul sistema di emergenza sanitaria dell'11 aprile 1996¹ e nelle linee guida del Dipartimento della Protezione Civile per la pianificazione intraospedaliera del settembre 1998². Le indicazioni contenute in questi documenti sono fondamentali nella pianificazione, dato il completo compendio dei problemi che affrontano, anche se necessariamente generali in quanto non riferite ad eventi specifici.

Alle linee guida si può aggiungere il volume pubblicato dalla Protezione Civile della Regione Piemonte, Disaster Management³, che presenta il modello organizzativo intraospedaliero proposto dalla Associazione Italiana Medicina delle Catastrofi. Il modello proposto recupera il Sistema H.E.I.C.S., (*Hospital Emergency Incident Command System*), ampiamente applicato negli Stati Uniti, e lo adatta alla realtà Italiana utilizzando figure normalmente presenti in servizio, che assumono ruoli precisi e garantiscono una risposta efficace, in termini organizzativi, senza ricorrere a figure esterne al sistema.

¹ Sistema di Emergenza Urgenza, (in applicazione del decreto del Presidente della Repubblica 27 marzo 1992), Linee di Guida 1/1996, 11 Aprile 1996, pubblicate nella G.U. n.114 del 17/5/1996

² Pianificazione dell'emergenza intraospedaliera a fronte di una maxi-emergenza, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento di Protezione Civile, Servizio Emergenza Sanitaria, Settembre 1998, http://www.protezionecivile.it/cms/attach/lineeguida_intraosp.pdf

³ Morra, Odetto, Bozza, Bozzetto, 2000, Disaster Management, Protezione Civile Regione Piemonte

Si richiama inoltre il Decreto Legislativo 19 settembre 1994, n. 626, il quale ha introdotto nel nostro ordinamento le norme per il miglioramento della sicurezza e salute dei lavoratori sul luogo di lavoro ed è stato il primo atto legislativo ad assegnare grande importanza alla valutazione dei rischi (tra i quali va compreso anche il rischio sismico) ed alla predisposizione di idonee misure di mitigazione.

Le Linee Guida sul sistema di emergenza sanitario, dette anche linee guida Guzzanti dal nome del Ministro che le ha promulgate, in buona sostanza forniscono delle risposte all'emergenza sanitaria sia extra che intraospedaliera.

Il loro scopo principale è specificare i ruoli del Sistema di Emergenza Sanitaria 118. Nello specifico, precisano il ruolo della Centrale Operativa nel coordinamento sanitario in caso di catastrofe e, per la parte intraospedaliera, evidenziano la necessità di identificare subito i pazienti dismissibili per liberare posti letto. Rimarcano inoltre, ai sensi del D.L. 626/94, la necessità di valutare i rischi relativi alla struttura ospedaliera e delle misure di controllo, i programmi di informazione e formazione del personale e l'ulteriore necessità, da parte del personale del Dipartimento di Emergenza e Accettazione, di predisporre Piani di Emergenza Interna (antincendio, evacuazione e afflusso di feriti).

3.2.2. Documenti sulla sicurezza sismica degli ospedali

Le fonti più rilevanti per la sicurezza sismica dei sistemi ospedalieri sono:

- le "Raccomandazioni per il miglioramento della sicurezza sismica degli ospedali in Italia" prodotto dal Ministero della Salute¹ per sostenere la programmazione degli interventi sul patrimonio edilizio sanitario;
- i rapporti ATC (*Applied Technology Council*) sviluppati in collaborazione con il Servizio Sismico Nazionale.

Le Raccomandazioni sono state sviluppate con specifico riferimento ad una situazione d'emergenza causata da un terremoto, proponendosi di offrire uno **strumento che coniughi le esigenze organizzative con quelle strutturali** così da ottenere una risposta integrata per ottimizzare le risorse. Pregio di questo documento è il tentativo di coniugare gli aspetti strutturali e impiantistici con quello sanitario per l'analisi degli edifici.

I tre rapporti **ATC 51**, **ATC 51-1**, **ATC 51-2**² hanno il pregio di considerare aspetti importanti della pianificazione ospedaliera insieme al rischio sismico, entrando nello specifico di tutte le procedure operative e utilizzando la filosofia dell' HEICS (vedi paragrafo 2.2.3).

3.2.3. Documenti di progettazione antisismica

Nel campo dell'ingegneria sismica, il nuovo decreto ministeriale del 14 settembre 2005 recepisce le innovazioni introdotte dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 (e successive modifiche ed integrazioni³), riguardante i "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche". Rispetto alla precedente norma (DM96) vi sono significative variazioni: la riclassificazione sismica del territorio Italiano; nuove regole e procedure per la progettazione e la valutazione della sicurezza delle opere nei confronti delle azioni sismiche; la regolamentazione delle verifiche per categorie prime non considerate, quali gli edifici esistenti, gli edifici con dispositivi antisismici.

¹ Raccomandazioni per il miglioramento della sicurezza sismica e della funzionalità degli ospedali, Ministero della Salute, D.M. 22/12/2000, http://www.ministerosalute.it/resources/static/focus/106/linee_guida.pdf

² (a) ATC 51, 2000. U.S.-Italy Collaborative Recommendations for Improving the Seismic Safety of Hospitals in Italy, ATC 51 Report, Redwood City, CA; (b) ATC 51-1, 2002. Recommended U.S.-Italy Collaborative Procedures for Earthquake Emergency Response Planning for Hospitals in Italy, ATC 51-1 Report, Redwood City, CA; (c) ATC 51-2, 2003. Recommended U.S.-Italy Collaborative Guidelines for Bracing and Anchoring Nonstructural Components in Italian Hospitals, ATC 51-2 Report, Redwood City, CA

³ L'Ordinanza 3274 è stata modificata ed integrata dalla successive OPCM 3316 del 2/10/03, OPCM 3333 del 23/01/04, OPCM 3431 del 3/5/05 e OPCM n° 3452 del 1/08/05.

In aggiunta alla normativa italiana si ritiene opportuno citare i documenti prodotti dalla agenzia per la gestione delle emergenze degli Stati Uniti (*Federal Emergency Management Agency*, FEMA¹) e la Normativa Europea² per la progettazione di strutture resistenti all'azione sismica (Eurocodice 8).

Le linee guide pubblicate dalla FEMA hanno avuto il pregio di introdurre, sin dai primi anni '90, il concetto di livello di prestazione globale per l'edificio come combinazione dei livelli di prestazione degli elementi strutturali e di quelli non-strutturali.

L'Eurocodice 8 è il documento di riferimento europeo per tutte le norme di sicurezza nazionali. Esso, pur non essendo una norma cogente, rappresenta un utile riferimento anche per i principi ed i valori di sicurezza di riferimento da considerare in campo sismico.

3.3 Esempi di recenti realizzazioni

L'attenzione alla sicurezza sismica degli ospedali ha prodotto l'adozione di tecniche e criteri innovativi nella pratica progettuale volti a garantire l'assenza di danni anche alle parti non-strutturali e la piena funzionalità dopo il sisma.

Una di queste tecniche (isolamento alla base) prevede l'interruzione della continuità strutturale delle fondazioni dal resto della struttura attraverso il posizionamento di speciali giunti (detti isolatori) in materiale elastomerico ed acciaio. La risposta dinamica di una struttura sismicamente isolata è caratterizzata da una forte riduzione tanto dello spostamento interpiano quanto delle accelerazioni sismiche e appare di per sé estremamente efficace per costruzioni di importanza strategica per la protezione civile, la cui operatività ed integrità è essenziale proprio in un'occasione di emergenza.

Una altra tecnica che migliora il comportamento della struttura all'azione sismica è quella dei controventi dissipativi in carpenteria, che consiste nel porre in opera degli speciali trasversi che incrementano la rigidezza della struttura e la dissipazione dell'energia permettendo di ridurre lo spostamento di interpiano di un fattore 2 o 3. In questo caso l'energia fornita dal sisma alla struttura resta immutata, ma viene in gran parte assorbita dai dissipatori, con conseguente significativa riduzione delle sollecitazioni e degli spostamenti richiesti alla struttura e dunque dell'escursione in campo plastico.

Tali tecniche aumentano la sicurezza soprattutto nei confronti della funzionalità. Infatti una adeguata progettazione convenzionale, pur essendo in grado di impedire il collasso degli edifici, non evita la trasmissione delle vibrazioni sismiche al loro interno, rendendo in caso di sismi di forte entità assai problematica la protezione dei contenuti particolarmente vulnerabili a tali vibrazioni e conseguentemente la funzionalità.

In Italia, nel campo degli ospedali, è stata adottata solo la tecnica dell'isolamento. Le realizzazioni, riportate nell'elenco predisposto dal Gruppo Lavoro Isolamento Sismico³, sono:

- il centro medico della Marina Militare⁴ di Ancona, completato nel 1992 con 44 isolatori HDRB (High Damper Rubber Bearing);
- l'ospedale della Marina Militare¹ di Augusta in Sicilia, completato nel 1994 con 24 isolatori , HDRB;

¹ FEMA 356, 2000. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, U.S. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC

² CEN 2004. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Comité Européen de Normalisation

³ Martelli A, Forni M., Arato G.B., 2003. Progress on R&D and application of Seismic Vibration Control techniques for civil and industrial structures in the European Union, Proc. of 8th World Seminar on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures Yerevan, Armenia, October 2003

⁴ Il progetto è stato curato per la Marina Militare dagli ingegneri Antonucci, Giacchetti e Mancini

- il progetto pilota antisismico del nuovo ospedale generale di Frosinone² in fase di realizzazione (271 isolatori HDRB) che rappresenta il primo esempio in Italia di un ospedale per cui è stato assunto come obiettivo di sicurezza quello di garantire la funzionalità per un evento sismico con periodo di ritorno pari a 500 anni;
- l'ampliamento dell'ospedale Gervasutta³ di Udine, attualmente in via di ultimazione (52 isolatori).



Figura 4 Centro medico della Marina Militare di Ancona



Figura 5 Ospedale della Marina Militare di Augusta in Sicilia



Figura 6 Progetto Pilota antisismico Nuovo Ospedale di Frosinone



Figura 7 Ampliamento Ospedale Gervasutta – Udine

¹ Il progetto è stato curato per la Marina Militare dagli ingegneri Antonucci, Giacchetti e Mancini

² Il progetto è stato curato da STUDIO SPERI SdI, srl a firma dell'ing. Giuseppe Lupoi per l'ASL Frosinone, con la consulenza per la definizione dell'azione sismica, il Servizio Sismico Nazionale, Ing. G. Di Pasquale, e l'Università di Chieti, Prof. C. Nuti

³ Il progetto è stato curato per SVEI da STUDIO SPERI SdI, srl a firma dell'ing. Giuseppe Lupoi

4 CRITERI GENERALI PER LA SICUREZZA SISMICA DEGLI OSPEDALI

Le considerazioni contenute nei paragrafi precedenti hanno evidenziato come i due aspetti fondamentali della preparazione dell'ospedale al disastro, quello organizzativo/sanitario e quello strutturale/impiantistico, debbano procedere di pari passo durante le fasi di pianificazione e di attuazione della risposta operativa all'evento sismico. Un percorso separato, privo di punti di contatto, anche se condotto correttamente da entrambi i punti di vista, potrebbe infatti compromettere la reale efficienza della struttura in caso di evento sismico, con l'aggravante di un incremento del rischio per gli operatori e per gli utenti.

La pianificazione della risposta ospedaliera alla maxiemergenza è attuata per fasi, secondo lo schema riportato in Figura 8. Ciascuna fase è descritta dettagliatamente nel seguito.



Figura 8. Fasi della preparazione dell'ospedale al disastro

4.1 Fase 1: Progetto e obiettivi

In questa prima fase si definiscono gli obiettivi associando a determinati *livelli di moto sismico* la *prestazione* desiderata del sistema.

Il *livello di moto sismico* è generalmente rappresentato da un parametro di intensità del moto (accelerazione al suolo, PGA) che è funzione del periodo di ritorno, cioè della probabilità di accadimento. Maggiore è l'intensità, minore è la probabilità di accadimento, maggiore è il periodo di ritorno.

La *prestazione del sistema* può essere descritta attraverso i parametri presentati nel Par.2.3, oppure riferendosi alle definizioni riportate nella normativa tecnica attraverso i due seguenti stati limite:

- **stato limite di funzionalità o agibilità immediata** per il quale è garantita l'erogazione dei servizi essenziali necessari affinché l'ospedale sia utile in fase di emergenza post-sisma;
- **stato limite di collasso** per il quale è garantita la stabilità strutturale dell'edificio limitando così il rischio diretto per gli occupanti dell'ospedale.

In relazione ai due livelli di prestazione appena definiti, gli obiettivi per i sistemi ospedalieri individuati come poli fondamentali per la risposta all'emergenza sismica sono riportati in Tabella 2. Gli obiettivi minimi si riferiscono al livello prestazionale richiesto per legge.

È opportuno precisare che, in accordo ai risultati delle analisi riportate nei paragrafi precedenti, lo stato limite di funzionalità è riferito non solo alla componente strutturale/impiantistica ma anche a quella sanitario/organizzativa.

Tabella 2. Obiettivi di sicurezza per ospedali individuati come Poli di Protezione Civile

PRESTAZIONE EDIFICIO	PROBABILITÀ DI OCCORRENZA	
	Obiettivi di riferimento Poli di protezione sismica	Obiettivi minimi
SLD (SL-DL) (Agibilità immediata)	10% in 50 anni T ≈ 475 anni	30% in 50 anni T ≈ 150 anni
SLU (SL-DS) (Sicurezza per la vita)	2% in 50 anni T ≈ 2475 anni	5% in 50 anni T ≈ 975 anni
SL-CO (Prevenzione del collasso)	-	2% in 50 anni T ≈ 2475 anni

4.2 Fase 2: Conoscenza

Per organizzare una efficace risposta all'emergenza sismica occorre aver predisposto per tempo il più elevato livello possibile di conoscenza dei dati organizzativi dell'ospedale, delle strutture resistenti, delle dotazioni impiantistiche, delle attrezzature, degli spazi e del relativo ruolo funzionale.

Per la raccolta dei *dati organizzativi sanitari*, una tecnica che ha dimostrato una buona efficacia è la creazione di un canale comunicativo diretto con gli operatori locali coinvolti nel progetto somministrando loro specifici questionari, utili anche per verificare alcune informazioni o per confrontare la "percezione" delle risorse tra persone coinvolte con diversi ruoli nello stesso processo operativo od organizzativo.

Per la raccolta di *dati di tipo ingegneristico*, invece, occorre preliminarmente eseguire l'inventario dei dati disponibili nell'ufficio tecnico, verificarli *in situ* ed aggiornarli con indagini specifiche. L'obiettivo da raggiungere è una conoscenza tale da consentire di intervenire in emergenza sul fabbricato, sezionando impianti, eseguendo riparazioni, anche provvisorie, installando apparecchiature di scorta, etc.. A questo scopo si ritiene utili avvalersi di schede tecniche opportunamente predisposte in modo da risaltare le problematiche più frequenti.

4.3 Fase 3: Valutazione

La fase di valutazione si suddivide in quattro parti:

- la prima consiste nella *traduzione in schemi logici delle prestazioni richieste dagli obiettivi di sicurezza* definiti nella Fase 1 in funzione delle caratteristiche del sistema in esame (indagate nella Fase 2);
- la seconda consiste nell'*analisi della pericolosità*, cioè della probabilità di verificarsi di un evento sismico con una data intensità;
- la terza consiste nell'*analisi di vulnerabilità* della componente fisica;
- la quarta nella *verifica degli obiettivi* attraverso il confronto dei risultati delle tre parti precedenti.

Schemi logici delle prestazioni richieste dagli obiettivi di sicurezza

Con riferimento agli stati limite definiti nella Fase 1, in linea generale si può affermare che lo stato limite di collasso si riferisce semplicemente alla risposta degli elementi strutturali principali e quindi la sua verifica si risolve semplicemente nel controllo di questi elementi. La verifica dello stato limite di funzionalità richiede invece lo studio non solo della componente ingegneristica (elementi strutturali e non-strutturali) ma anche di quella organizzativa/sanitaria. In particolare per la componente organizzativa sanitaria è necessario: (a) verificare l'esistenza di tutti quei servizi medici definiti essenziali

per la cura di vittime a seguito di evento sismico; (b) esaminare il contesto in cui l'ospedale è inserito, determinante per la stima del numero e della tipologia delle vittime; (c) valutare la qualità e l'efficacia delle procedure definite del Piano di Emergenza dell'ospedale; (d) valutare la qualità della componente umana in relazione alla capacità degli operatori di lavorare in emergenza ed alla loro disponibilità in termini numerici per assicurare la funzionalità dei servizi richiesti; (e) verificare l'esistenza di adeguate risorse materiali necessarie ad offrire i servizi richiesti (relativamente, ad esempio, alle scorte di materiale medico, alle riserve di acqua, ai generatori di corrente, ...).

Analisi di pericolosità

L'analisi di pericolosità determina la probabilità di accadimento entro uno specifico arco di tempo ed in una data zona geografica di un terremoto in funzione di un parametro che ne misura l'intensità. Come ricordato in precedenza, maggiore è l'intensità, minore sarà la probabilità di occorrenza.

Analisi di vulnerabilità

L'analisi di vulnerabilità deve essere eseguita con metodologie specifiche in funzione degli obiettivi richiesti. Dovrebbe inoltre tener conto delle incertezze presenti nei dati disponibili, nella modellazione e calcolo della struttura, nella stima della capacità resistente degli elementi e nella azione stessa. A tal fine si propone un approccio con tre livelli di approfondimento:

- I livello procedura di natura statistica/esperienziale basata su schede sviluppate appositamente per i complessi ospedalieri;
- II livello analisi numeriche di dettaglio, di differente complessità (lineari e/o non-lineari, statiche e/o dinamiche);
- III livello metodi di natura probabilistica che rappresentano lo stato dell'arte in materia dove tutte le variabili in gioco sono quantificate e considerate.

Verifica degli obiettivi

Una volta in possesso dei dati relativi allo stato di vulnerabilità del sistema ospedaliero e delle risorse economiche, strumentali e operative disponibili, è possibile procedere alla valutazione del comportamento dell'ospedale in relazione allo stato attuale delle cose. Partendo dai risultati delle tre parti precedenti la fase di valutazione deve "riprodurre" la risposta del sistema al fine individuare i punti di maggiore criticità per poter, nella fase successiva, ipotizzare gli interventi più appropriati.

La procedura di valutazione deve essere eseguita in funzione degli obiettivi scelti (Fase 1) che determinano il grado di approfondimento che si vuole perseguire e dei dati disponibili (Fase 2). Tra i diversi approcci possibili si descrivono i due principali:

- approccio deterministico che comporta l'analisi di diversi scenari in relazione ai livelli di moto sismico definiti negli obiettivi di sicurezza;
- approccio probabilistico che comporta l'adozione di più complesse procedure dove le varie fonti di incertezza vengono correttamente quantificate ed inserite nell'analisi.

4.4 Fase 4. Mitigazione

Lo studio delle soluzioni di mitigazione mira a risolvere le criticità emerse nella fase precedente in funzione dei vincoli di natura economica e funzionale. In questa fase l'interazione tra componente tecnica e componente organizzativa/sanitaria è fondamentale, poiché le rispettive soluzioni necessarie possono richiedere reciproci aggiustamenti fino a radicali variazioni nella strategia di intervento (ad esempio con lo spostamento di alcuni servizi essenziali da aree sottoposte a maggior rischio ad altre meno vulnerabili).

In via schematica, si possono identificare tre metodologie di approccio:

- 1) **costruzione di un nuova struttura;**
- 2) **adeguamento con un singolo intervento;**
- 3) **adeguamento per passi successivi** (incrementale).

Alcuni tra i più significativi svantaggi e vantaggi dei tre approcci in relazione ai vincoli economici e funzionali sono riportati in Tabella 3. Nel seguito si riportano alcune delle soluzioni più comuni alle problematiche emerse nell'analisi di alcuni ospedali italiani.

Tabella 3. Vantaggi e svantaggi dei diversi approcci per gli interventi di mitigazione

<i>Approccio</i>	<i>Tempo di inagibilità</i>	<i>Tempo di realizzazione</i>	<i>Costo</i>	<i>Risultato</i>
Demolizione e costruzione nuova struttura	Limitato se la costruzione è altrove Alto se la costruzione coincide con la precedente.	Alto	Alto	Struttura pienamente rispondente alle nuove normative sia strutturali (sisma) che impiantistiche e funzionali
Adeguamento con un singolo intervento	Medio – Alto	Medio	Medio	Struttura "migliorata", ma non sempre pienamente rispondente alle nuove normative
Adeguamento per passi	Molto limitato	Alto	Limitato	Struttura "migliorata", ma non sempre pienamente rispondente alle nuove normative

Componente ingegneristica

Da un punto di vista ingegneristico l'adeguamento di un edificio richiede interventi sia sugli elementi strutturali che su quelli non-strutturali, in special modo quando il livello di prestazione da perseguire è la funzionalità (stato limite di funzionalità o agibilità immediata) e non la salvaguardia delle vite umane (stato limite ultimo o di collasso).

L'adeguamento della parte strutturale richiede un'analisi approfondita della costruzione esistente e si traduce nella progettazione di un intervento in grado di limitare gli spostamenti d'interpiano. In forma sintetica si può ritenere che, in prima analisi, il requisito prestazionale sui componenti strutturali, quali ad esempio travi e pilastri, è garantito mediante il soddisfacimento delle prescrizioni contenute nell'Ordinanza e/o nell'Eurocodice 8. Il problema è che non sempre questo livello è presente o raggiungibile e quindi si deve in molte applicazioni valutare caso per caso.

Le tecniche di adeguamento strutturale possono essere di tipo locale, come il rinforzo di tipo convenzionale o con fibre di carbonio di alcune colonne o travi, o di tipo globale, come l'inserimento di setti di irrigidimento o l'isolamento.

La sicurezza impiantistica si raggiunge controllando l'autonomia degli impianti di produzione, che deve essere non inferiore a 72/96 ore, verificando il permanere del 100% di capacità di autoproduzione di energia di due ore per i gruppi di continuità dedicati alle prestazioni sanitarie non interrompibili e la garanzia della non interruzione dei flussi impiantistici. Queste ultime funzioni sono garantite se gli elementi di produzione, di smistamento, di trasferimento sono adeguatamente ancorati in grado di adattarsi agli spostamenti massimi relativi dei giunti nelle due direzioni.

Componente sanitaria

I *piani d'emergenza* sono gli strumenti che consentono, attraverso la predisposizione di un insieme di procedure operative di intervento, di organizzare e coordinare gli interventi di soccorso a tutela della popolazione e dei beni in un'area a rischio, e di garantire con ogni mezzo il mantenimento del livello di vita "civile" messo in crisi da una situazione che comporta necessariamente gravi disagi fisici e psicologici. Nella realtà italiana i piani di emergenza più rilevanti in caso di evento sismico sono: il Piano di Emergenza per Massiccio Afflusso di Feriti (P.E.M.A.F.) e del Piano di Evacuazione (P.Evac.).

Il P.E.M.A.F. deve garantire l'adozione di efficaci protocolli di cura in grado di utilizzare le risorse disponibili con il massimo profitto (*triage*), allestire i percorsi e le aree di diagnosi e trattamento per i pazienti coinvolti; gestire la mobilitazione del personale, Il P.Evac prevede le procedure da adottarsi da una parte per valutare le condizioni del fabbricato e, dall'altra, per garantire l'incolumità dei pazienti in caso di trasporto.

I fattori che maggiormente condizionano la componente sanitaria sono:

- (a) *Gli operatori.* Sulla base della complessità organizzativa del presidio ospedaliero, il Piano deve indicare le figure professionali "chiave" da allertare. Le modalità di attivazione riguarderanno o alcuni reparti ed i servizi di emergenza (Piano ridotto) o l'intera struttura (Piano completo), al fine di realizzare un'implementazione progressiva, secondo le necessità poste dall'evento.
- (b) *Le scorte di materiali e farmaci.* Nei Piani di Emergenza deve essere prevista l'attivazione precoce del Servizio Farmaceutico, del Magazzino Generale e della Mensa, al fine di garantire il flusso di farmaci e presidi terapeutici alle aree di trattamento, senza dimenticare un livello di conforto minimo per gli operatori impegnati nelle attività.
- (c) *I supporti di diagnosi e terapia.* Durante una grande emergenza, con un flusso imponente di feriti che giungono in ospedale, quanto prima si verificherà una saturazione dei servizi di diagnosi, oberati da richieste in gran numero, seguita da un altro potenziale problema "funzionale" a livello del blocco operatorio, per esaurimento delle possibilità chirurgiche. Si verificherà, cioè, un rallentamento del flusso dei feriti in corrispondenza di questi due punti focali, come se esistesse un "collo di bottiglia". Una soluzione per razionalizzare queste risorse riguarda l'ottimizzazione delle prestazioni diagnostiche, evitando i tempi morti tra un esame e l'altro e gestendo al meglio la rotazione dei pazienti tra i vari box diagnostici.
- (d) *L'utilizzo degli spazi.* All'interno di una struttura ospedaliera gli spazi sono sempre intensamente occupati. Esistono tuttavia delle potenzialità di poter ricavare nella struttura stessa degli spazi che possono essere utilizzati in modo diverso in caso di emergenza. È il caso ad esempio di strutture quali la cappella dell'ospedale, la sala mensa, i locali degli ambulatori, che possono diventare, se preventivamente attrezzati, aree di trattamento di un gran numero di feriti.

5 APPLICAZIONE

La metodologia sopra illustrata è stata applicata in un caso di studio (Ospedale di Lamezia Terme) per il Ministero della Salute.

Il progetto dell'ospedale risale alla fine degli anni '60 come parte di un più ampio programma della Regione Calabria per lo sviluppo di una rete di centri ospedalieri preposti a garantire l'assistenza sanitaria in situazioni di emergenza. Il complesso è costituito da quattro corpi di fabbrica: Corpo Degenze, Piastra servizi, Uffici amministrativi e Riabilitazione funzionale, con una superficie coperta di 50.300mq circa ed un volume di 144.000mc. Una pianta è riportata in Figura 9. L'ospedale ha 366 posti letto ed ospita al suo interno tutti i servizi definiti essenziali per l'assistenza delle persone coinvolte in un evento sismico.

Lo studio concentra la sua attenzione sui due corpi principali dell'ospedale, la "Piastra" e le "Degenze", che contengono tutte le funzioni più importanti per l'erogazione dei servizi medici. Nel particolare, i servizi medici sono concentrati nel corpo "Piastra", che è una struttura di tre piani in c.a., mentre i servizi alberghieri sono ospitati dal corpo "Degenze", una struttura in c.a. di sette piani.

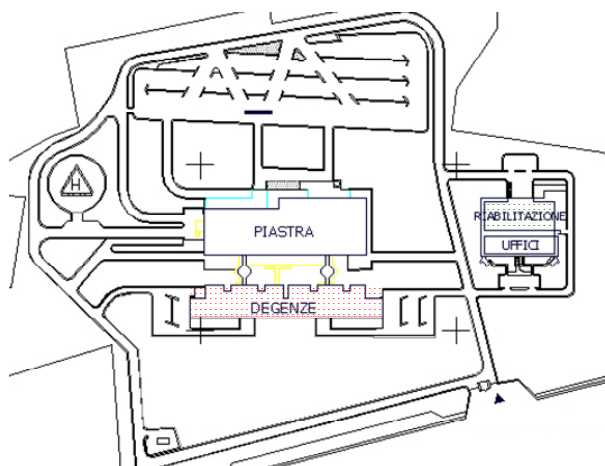


Figura 9: Pianta dell'ospedale di Lamezia Terme

5.1 Fase 1: Obiettivi di sicurezza

L'analisi svolta verifica i due seguenti obiettivi:

- funzionalità per un livello di moto sismico con un periodo di ritorno di circa 500 anni;
 - sicurezza per un livello di moto sismico con un periodo di ritorno di circa 2500 anni;
- e propone eventuali strategie di mitigazione.

5.2 Fase 2: Conoscenza

La raccolta dei dati è stata eseguita secondo le indicazioni riportate nel paragrafo precedente, utilizzando questionari per l'analisi della componente sanitaria e integrando le informazioni recuperate presso l'ufficio tecnico (disegni di progetto) con una indagine conoscitiva per la componente fisica.

Dalla verifica delle risorse sanitarie è emerso che: il piano di emergenza non prevede particolari modifiche alla configurazione dei servizi, in quanto questi sono già ben organizzati (la Piastra ospita i

servizi medici mentre le Degenze la parte alberghiera); mancano alcune attrezzature portatili particolarmente utili in situazioni di emergenza; gli operatori hanno una buona preparazione ma solo pochi sono specializzati per operare in situazioni di emergenza. In Figura 10 si riporta l'organizzazione degli spazi per il piano terra dell'edificio Piastra: il semaforo rappresenta la zona dove effettuare il triage, mentre le aree rosse, gialle e verdi corrispondono ai luoghi di raccolta delle vittime in base al codice di classificazione del triage.

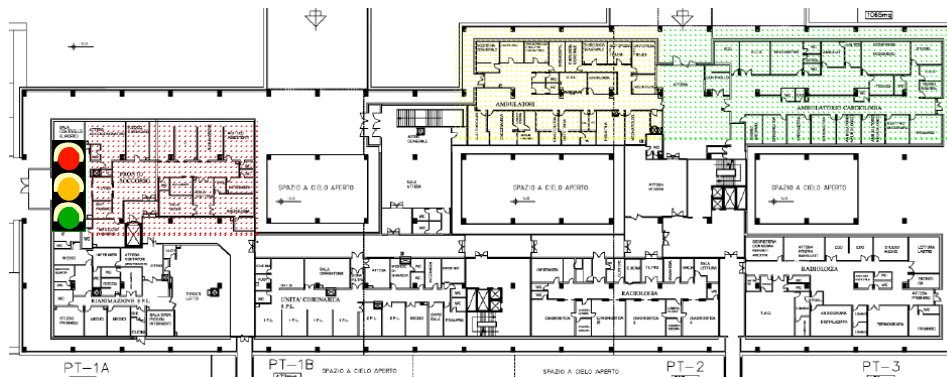


Figura 10. Organizzazione del piano terra del corpo Piastra: individuazione dell'area di triage (rappresentata dal semaforo), dell'area Rossi, dell'area Gialli e dell'area Verdi. I colori rappresentano la gravità delle lesioni riportate: rosso-pericolo di vita, giallo-gravi, verdi-non gravi

5.3 Fase 3: Valutazione

Schema logico delle prestazioni richieste

Le prestazioni associate agli obiettivi di sicurezza sono state tradotte per il caso del sistema in esame:

- Lo stato limite di collasso è strettamente legato alla componente ingegneristica del sistema ed in particolare alla risposta degli elementi strutturali: nel particolare per entrambi i corpi la risposta delle colonne è quella critica ai fini della stabilità. Il corrispondente schema logico è rappresentato in Figura 11.
- Lo stato limite di funzionalità richiede invece l'esame dell'ospedale nella sua configurazione di emergenza ed è legato agli elementi non-strutturali essenziali per l'erogazione dei servizi di assistenza. Nel caso in esame il piano di emergenza non prevede particolari modifiche alla configurazione dei servizi: la Piastra ospita i servizi medici mentre le Degenze la parte alberghiera. Pertanto, in accordo a quanto già descritto nel Par.3.1, è necessario garantire la completa funzionalità della Piastra (attraverso il controllo sia degli elementi strutturali che di quelli non-strutturali), mentre per il corpo Degenze l'obiettivo può essere limitato alla strutturale, e quindi al controllo dei soli elementi strutturali. Il corrispondente schema logico è riportato in Figura 12.

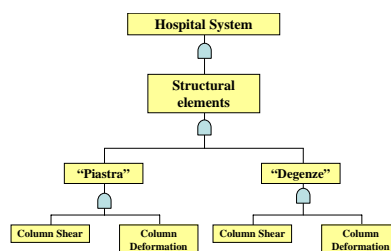


Figura 11. Schema logico dello stato limite di collasso

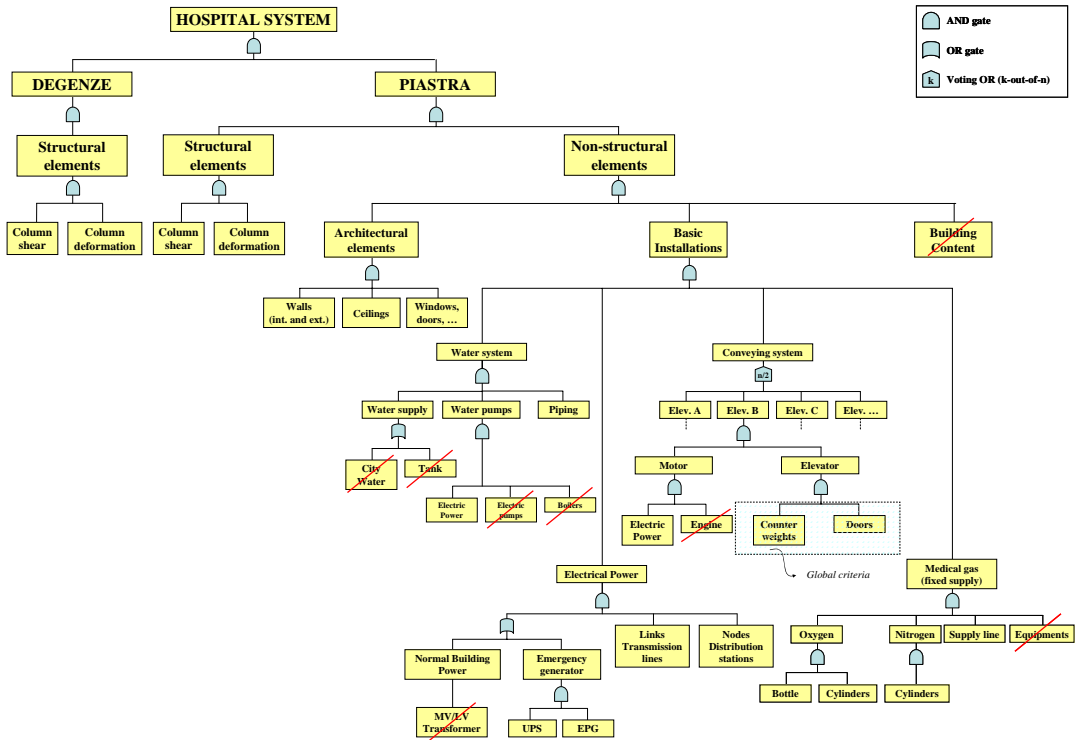


Figura 12. Schema logico dello stato limite di funzionalità

Analisi di pericolosità

I risultati dell'analisi di pericolosità eseguita rispetto all'accelerazione al suolo è riportato in figura:

- per un periodo di ritorno pari a 50 anni circa l'intensità dell'accelerazione al suolo è pari a 0.08g;
- per un periodo di ritorno pari a 500 anni l'intensità dell'accelerazione al suolo è pari a 0.28g;
- per un periodo di ritorno pari a 2500 anni l'intensità dell'accelerazione al suolo è circa pari a 0.60g.

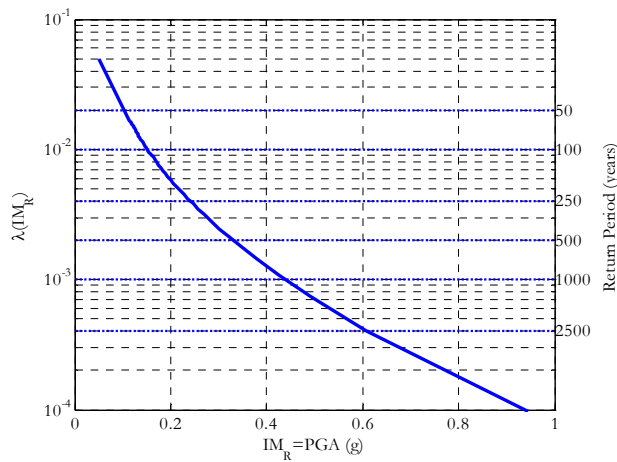


Figura 13. Risultati dell'analisi di pericolosità

Analisi di vulnerabilità

L'analisi di vulnerabilità è stata eseguita adottando un approccio di II livello con un'analisi non lineare. In figura si riportano i due modelli agli elementi finiti adottati per rappresentare la risposta dei due corpi principali il corpo Degenze ed il corpo Piastra (Figura 14) e le rispettive curve di *pushover* (Figura 15 e Figura 16).

L'analisi dei risultati rivela la buona progettazione ed il buono stato di conservazione delle strutture.

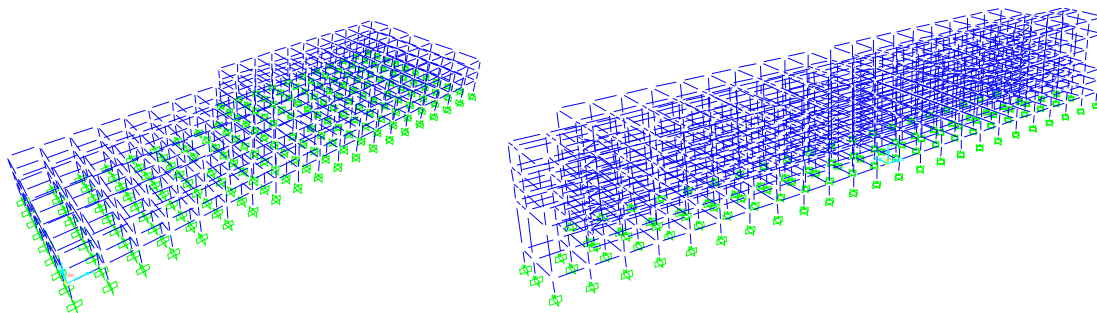


Figura 14. Modello agli elementi finiti per i due corpi principali dell'ospedale di Lamezia Terme: Piastra a sinistra e Degenze a destra

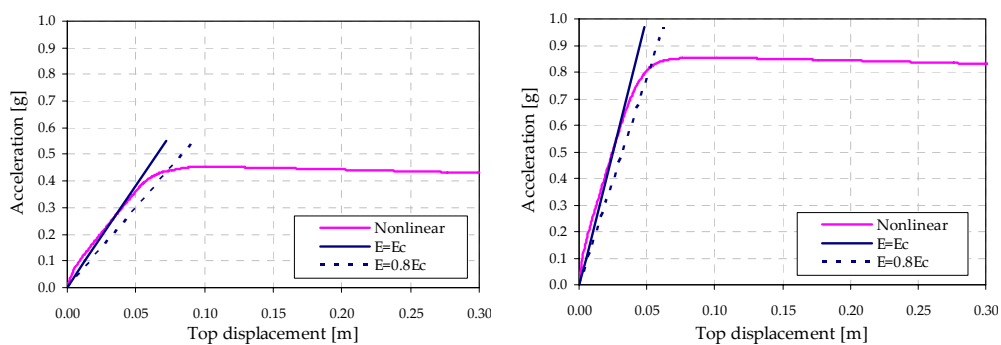


Figura 15. Confronto tra i risultati in analisi statiche lineari e non lineari per il corpo Piastra: in direzione X a sinistra ed in direzione Y a destra

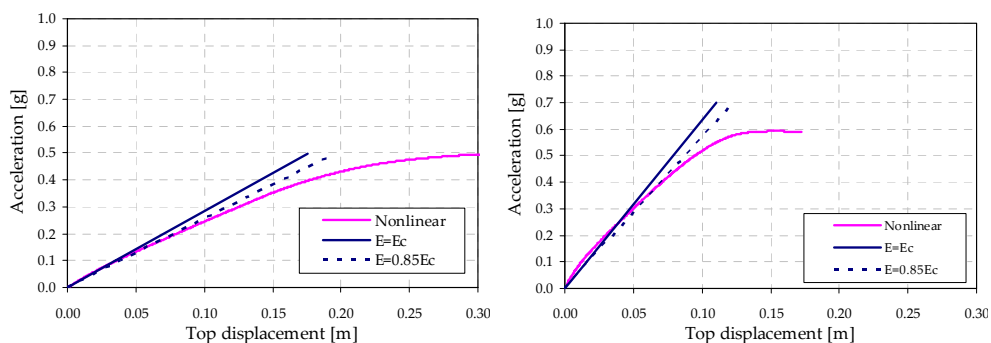


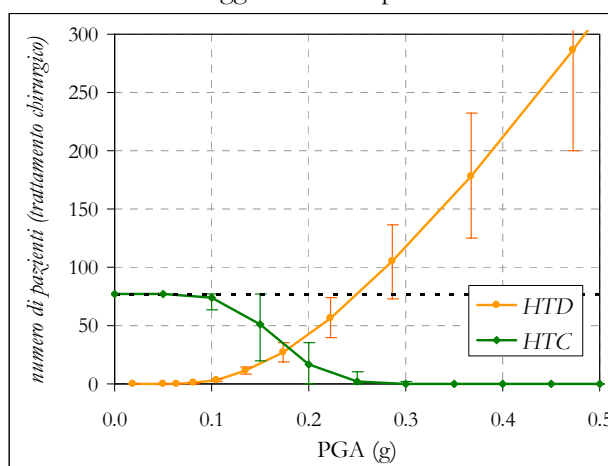
Figura 16. Confronto tra i risultati in analisi statiche lineari e non lineari per il corpo Degenze: in direzione X a sinistra ed in direzione Y a destra

Verifica degli obiettivi prescelti

La valutazione del sistema ospedale è stata eseguita combinando la pericolosità del sito in esame con la vulnerabilità del sistema ospedaliero per i due obiettivi principali:

- la sicurezza è garantita per un evento con periodo di ritorno maggiore di 2500 anni in quanto lo stato limite di collasso è verificato per entrambi i corpi di fabbrica;
- la funzionalità non è invece soddisfatta per un evento con periodo di ritorno pari a 500 anni, in quanto gli spostamenti di interpiano del corpo Piastra non risultano compatibili con l'operatività degli elementi non strutturali per il periodo di ritorno considerato.

Utilizzando altri parametri più significativi, come il confronto della capacità di cura con le necessità assistenziali della popolazione colpita (domanda) si ottiene che per un evento con periodo di ritorno maggiore di 125 anni la domanda risulta maggiore della capacità.



L'analisi del sistema in esame conferma le osservazioni riportate dagli studi sulle conseguenze dei passati terremoti evidenziando l'importanza degli elementi non-strutturali per garantire la funzionalità del sistema e non solo la sicurezza delle persone all'interno dell'ospedale.

Gli interventi di mitigazione devono pertanto mirare e ridurre tale vulnus agendo sia, direttamente, sugli elementi non-strutturali, aumentando la capacità di spostamento, che, indirettamente, su quelli strutturali in modo da diminuire lo spostamento della struttura.

5.4 Fase 4: La mitigazione

Considerata la dimensione del volume edilizio, la sicura necessità di interventi estesi, anche di tipo strutturale, la ridondanza delle funzioni essenziali presenti e tenendo conto anche delle indicazioni derivanti dalla pianificazione sanitaria, si è giunti alla conclusione che per adeguare l'Ospedale ai livelli di sicurezza definiti conviene concentrare gli interventi sul fabbricato Piastra. Data l'esiguità degli spazi disponibili nella piastra, nel caso in cui in situazioni di emergenza risulti necessaria l'evacuazione del corpo degenze, i pazienti ricoverati troveranno sede in aree circostanti l'edificio. Tra queste, se disponibili ed agibili, verranno prioritariamente utilizzati gli edifici Riabilitazione ed Uffici.

Nel seguito si presentano diverse ipotesi di interventi suddivisi per (1) elementi strutturali, (2) elementi non-strutturali, (3) componente organizzativa e sanitaria.

Interventi sugli elementi strutturali

L'obiettivo degli interventi presentati nel seguito è di limitare gli spostamenti di interpiano del corpo Piastra dell'Ospedale di Lamezia Terme al 4‰ per un'azione definita dallo spettro di risposta per

un'accelerazione di picco al suolo (PGA) almeno pari a 0.24g, che corrisponde circa ad un periodo di ritorno di 500 anni.

In accordo allo spirito di sperimentazione che ha guidato il lavoro, sono state esaminate tre differenti soluzioni di adeguamento per soddisfare l'obiettivo sopra definito:

- l'inserimento di controventi dissipativi*, ()
- l'inserimento di setti di irrigidimento* ()
- l'isolamento alla base* ()



Figura 17. Disposizione dei controventi in pianta (Piano terra)

Tabella 4. Numero di pareti necessarie al variare dello spessore

b (m)	n _x	n _y
0.3	27	24
0.4	21	15
0.5	18	12

Tabella 5. Caratteristiche degli apparecchi di appoggio in gomma (isolatori)

Numero	TYPE	N max. kN	Spost. max. m	Kh kN/m	D mm	H _{gomma} m	ξ %
108	HDS.A 600	2000	0.218	720	600	156	10
108	HDS.E 400	650	0.200	480	400	80	10

Le tre soluzioni proposte appartengono a due filosofie opposte: la prima, che comprende sia i controventi dissipativi che le pareti strutturali, riduce gli spostamenti di interpiano attraverso un incremento di rigidità e di smorzamento (solo nel caso di controventi dissipativi); la seconda, l'isolamento alla base, invece, agisce disaccoppiando il moto del terreno e il moto della struttura attraverso l'inserimento di elementi ad alta flessibilità orizzontale.

Nella pratica ingegneristica la scelta di una delle due filosofie è condizionata dalla realtà fisica in cui ci si trova ad operare. È chiaro che la prima, pur essendo più invasiva nella usuale fruibilità, ha un campo di applicazione più vasto. Alla seconda, infatti, si può ricorrere solo nel caso in cui ci si trovi di fronte a fabbricati disarticolati e di elevata rigidità.

L'isolamento alla base, ove applicabile, offre il vantaggio di ottenere oltre alla riduzione degli spostamenti di interpiano anche una notevole riduzione delle accelerazioni, ma richiede lo studio di una serie di accorgimenti per permettere lo spostamento differenziale tra la parte direttamente collegata al terreno e la parte isolata.

L'inserimento di controventi (sia tramite controventi dissipativi che pareti strutturali), tecnica utilizzata da sempre per incrementare la resistenza delle strutture, è sicuramente più immediata anche se la sua applicazione è limitata dalle esigenze funzionali e architettoniche della struttura.

Nel seguito si riporta il confronto dei risultati delle analisi dinamiche non-lineari tra la soluzione con controventi dissipativi e l'isolamento in termini di drift e di accelerazioni ai piani. A livello prestazionale emerge che entrambe le tecniche offrono soluzioni in grado di soddisfare l'obiettivo di sicurezza richiesto, drift inferiore al 0.4% per un'accelerazione di 0.24g; 0.37% per i controventi e 0.34% per l'isolamento.

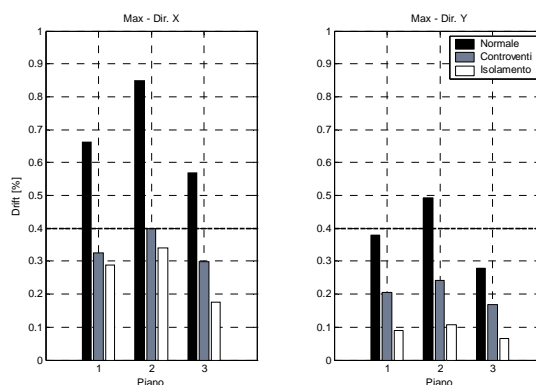


Figura 5.18. Confronto dei drift massimi con tre accelerogrammi

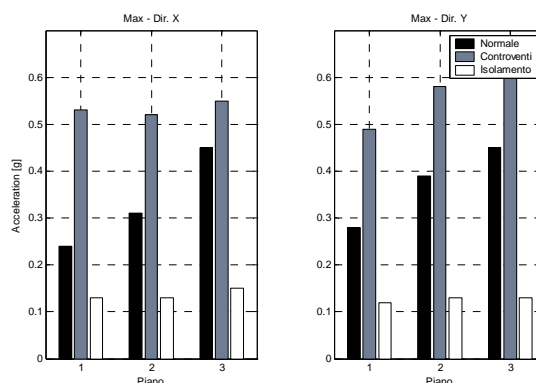


Figura 5.19. Confronto delle accelerazioni massime con tre accelerogrammi

Interventi sugli elementi strutturali

Nell'ipotesi di essere riusciti a ridurre le deformazioni nell'ambito dei valori riportati gli interventi sugli elementi non strutturali possono essere così sintetizzati:

- Tamponature*: nessun intervento.
- Infissi*: nessun intervento.
- Controsoffitti*: smontaggio delle parti mobili ed inserimento di controventi; inserimento di giunti ad assorbimento tra i bordi dei controsoffitti e le pareti.
- Macchinari di grandi dimensioni*: inserimento di sistemi di vincolo flessibili dove assenti.
- Macchinari di dimensioni modeste ed attrezzature*: semplice verifica della stabilità delle basi di appoggio.
- Tubazioni impiantistiche*: inserimento di un giunto nelle tubazioni in corrispondenza dei tramezzi; inserimento di tubi flessibili nelle tubazioni in corrispondenza dell'attraversamento di giunti strutturali, e, nel caso di intervento con isolamento alla base, anche nei punti di connessione

struttura isolata – struttura non isolata; inserimento di anelli di ancoraggio scorrevoli in prossimità dei giunti strutturali.

- g) *Ascensori e montalettighe*: revisione totale degli ascensori, montalettighe, montacarichi con l'adeguamento (o sostituzione) delle guide dei contrappesi e della cabina; revisione degli ancoraggi dei motori; adeguamento degli ascensori, montalettighe e montacarichi nel caso di intervento con isolamento alla base.

Interventi sulla componente sanitaria

Per ovviare ad alcune delle lacune emerse nella verifica delle risorse condotta nella Fase 2 di conoscenza si ritiene opportuno concentrare l'attenzione sui seguenti aspetti:

- *diffusione delle procedure e organizzazione* di una struttura dedicata alle maxi-emergenze;
- *preparazione degli operatori* ad operare in emergenza;
- miglioramento della dotazione di *attrezzature portatili*;
- maggiore *coordinamento con la pianificazione regionale*.

6 CONCLUSIONI

In questo breve articolo si è cercato di riportare alcune esperienze ed offrire una visione unitaria alla problematica della sicurezza sismica dei sistemi ospedalieri. Lo studio prende le mosse dalla convinzione che l'ospedale deve continuare a garantire la sua funzione di assistenza in modo da poter offrire i suoi servizi nel momento in cui ce ne è più bisogno.

I temi fondamentali che devono essere affrontati al fine di garantire un'adeguata risposta sanitaria all'emergenza sismica sono:

- l'**individuazione dei poli di emergenza sismica**;
- la **preparazione dei singoli poli**;
- la **formazione degli operatori**;
- l'**acquisizione della migliore conoscenza** sia dei dati organizzativi sanitari che delle caratteristiche tecniche dei fabbricati, comprese le aree adiacenti e le viabilità di accesso.

L'individuazione e l'elezione di alcuni ospedali a poli del sistema di protezione civile è compito della programmazione regionale. L'adeguamento di tutte le strutture ospedaliere agli standard necessari per il mantenimento delle funzioni in situazioni di emergenza sismica è, infatti, una soluzione impraticabile e comunque non ottimale.

La predisposizione dei singoli poli non può essere semplicemente affidata ai responsabili del rischio, che oberati dalle attività quotidiane quali la necessità di assicurare la qualità delle prestazioni sanitarie e i controlli sanitari delicati (ad esempio sulla qualità del cibo), trovano difficoltà a prestare la necessaria attenzione a problematiche solo "eventuali". È opportuno, quindi, che **questi aspetti della sicurezza siano trattati da un apposito team gestito da specialisti dedicati** (e quindi sottratti da mansioni operative) con professionalità che consentano di gestire aspetti tecnico-strutturali, aspetti organizzativi e aspetti comportamentali e di disegnare strategie capaci di ottimizzare l'impiego delle risorse disponibili.

Il lavoro del team di specialisti deve essere condotto in stretta collaborazione con il personale dell'ospedale in esame, per avvalersi della loro conoscenza particolare e per strutturare i piani di emergenza secondo esigenze particolari.

La formazione degli operatori e più in generale di tutta la struttura ad operare in emergenza è un tema che non è stato trattato in questo articolo e per il quale si rimanda agli specialisti di Medicina delle Catastrofi. In questo contesto si ritiene opportuno solo rilevarne l'importanza.

La conoscenza dei dati organizzativi sanitari è un elemento irrinunciabile per poter operare analisi come quelle proposte e spesso si rivela uno degli ostacoli più difficili da superare. Una maggiore attenzione in questo senso da parte delle strutture preposte è certamente il primo passo da compiere.

Infine, riguardo alle **strategie di mitigazione** si osserva che quelli relativi alle componenti non strutturali non sono molto onerosi e che *si potrebbero raggiungere buoni risultati se questi venissero pianificati all'interno degli interventi di manutenzione*. D'altro canto l'esperienza insegna che un Ospedale, più di qualsiasi altro fabbricato civile, ha una vita utile ben inferiore a quella della sua componente edile.