

STRUTTURE OSPEDALIERE: ESPERIENZE MATURATE IN SEGUITO AI PIU RECENTI TERREMOTI VERIFICATISI IN ITALIA E IN GRECIA

Nina Avramidou

Centro Internazionale per la Conservazione del Patrimonio Architettonico, c/o DPMPE, Via S. Niccolò 89a, 50125 – Firenze, ITALIA, n_avramidou@cesit1.unifi.it

SOMMARIO:

Sulla base delle osservazioni emerse in seguito ai più recenti eventi sismici verificatisi nella zona del mediterraneo ed in particolare in Italia e in Grecia, si espongono alcune considerazioni riguardanti la riprogettazione sismica delle strutture ospedaliere, coadiuvate da proposte per valutare le loro prestazioni in termini di sicurezza di vita e abilità di mantenerle in esercizio qualora vengano sottoposte a varie condizioni sismiche, come anche per sviluppare strategie efficaci di miglioramento prestazionale.

ABSTRACT:

Based on some observations carried out after more recent earthquakes verified in the Mediterranean zone, and in particular to Italy and Greece, this paper discusses the special seismic redesign considerations that needed for existing health care facilities; there are also exposed some purposes for assessing the projected performance of these facilities in terms of life-safety and ability to remain operational under various seismic conditions, as well as for developing effective, phased retrofit strategies to improve performance.

1. INTRODUZIONE

L'esigenza di mantenere operativi alcuni reparti di primaria importanza, durante gli interventi di ricostruzione post sisma, incide sui costi globali di ripristino/rinforzo e richiede notevole abilità da parte dei responsabili del funzionamento delle strutture sanitarie in condizioni eccezionali. Riguardo all'estensione ed importanza degli interventi di ricostruzione, potrebbe risultare necessario sostituire parte o tutti i reparti temporaneamente con strutture provvisorie.

Il costo per assicurare e rimodellare gli spazi ausiliari temporanei come anche il costo per ricollocare in essi le funzioni interne, rappresenta la spesa maggiore dei costi globali d'interruzione attività. Nei casi di strutture ospedaliere complesse, tali costi, possono anche risultare superiori a quelli degli interventi di ripristino dei danni.

L'abilità di non far cessare una determinata funzione ospedaliera, collocata in una zona dell'ospedale in cui occorre procedere con la riparazione, dipende dalla compressione e dal livello di sopportazione degli occupanti; pertanto, essi andrebbero consultati durante il processo di pianificazione e resi partecipi della decisione di ricollocare o no in altra parte il reparto interessato dai lavori.

Sulla base dei terremoti dell'ultimo ventennio verificatisi in Italia e in Grecia, o più in generale nella fascia mediterranea, è possibile effettuare una stima approssimata dei costi occorrenti per le strutture sanitarie provvisorie, e una stima in giorni della limitazione d'uso delle strutture sanitarie in riparazione, ossia:

- In generale, edifici con struttura portante in c.a. realizzati a partire dagli anni settanta in poi, e che hanno subito danni tali da incrementare la loro vulnerabilità sismica dell'ordine di 15-20%, non necessitano di essere chiusi, caso dell'ospedale di S. Carlo a Potenza, Figg. 1 e 2;
- Per danni eccedenti un incremento della vulnerabilità sismica superiore al 60%, vengono generalmente demoliti e rifatti, come per diversi gli edifici ospedalieri situati nella zona epicentrale del terremoto di Atene del 7 Sett.'99, (Figg. 3 e 4);
- Edifici con struttura portante in muratura realizzati prima degli anni settanta e che hanno subito danni tali da incrementare la loro vulnerabilità sismica dell'ordine di 10-15%, vengono parzialmente evacuati, caso dell'ospedale S. Giovanni di Foligno;
- Per danni eccedenti un incremento della vulnerabilità sismica superiore al 40%, vengono generalmente demoliti e rifatti, caso dell'ospedale Verderuolo di Potenza, Fig. 5 e 6.

Il costo per chiusura giornaliera si deve valutare in base al livello delle prestazioni offerte e il costo necessario per fornire gli stessi servizi presso le strutture provvisorie di supporto.

2. IL TERREMOTO DI ATENE DEL 7 SETTEMBRE 1999

Il quadro dei danni strutturali e la loro interpretazione ripropongono situazioni emerse anche in Italia in seguito ai più recenti terremoti, a partire dal 1976 (sisma del Friuli).

La frattura principale terrestre che ha provocato il terremoto di Atene, è molto piccola ed è localizzata a circa 20 Km dal centro della città di Atene, ai piedi del monte Parnitha, ad una profondità non rilevante; nella stessa zona s'individuano più di 10 fratture ipogee attive. Tuttavia, pur trattandosi di un evento piuttosto circoscritto localmente, i danni sono stati ingenti: 123 morti, 14 dispersi, 29 crolli di edifici multipiano, 20.000 persone senza tetto. Dei 30.000 edifici esaminati dai tecnici nelle prime due settimane dopo il terremoto, 1/6 è stato giudicato da demolire e per più di 1/3 (11.000 costruzioni) sono stati dichiarati necessari lavori di ripristino dei danni nelle strutture o nelle opere di completamento, estendendosi in larga parte della regione Attica.

L'analisi post-sismica ha consentito di cogliere una serie di comportamenti connessi agli aspetti della sicurezza degli organismi edilizi complessi come quelli ospedalieri, relativi a vari contesti interagenti tra loro, come ad esempio il contesto socioeconomico e quello funzionale. In generale, si può affermare che gli edifici ospedalieri hanno mostrato qui come in altre città italiane colpite da sismi, la loro vulnerabilità sismica; quindi, rappresenta una procedura di routine affidare all'esercito e alla croce rossa l'emergenza sanitaria post-terremoto. Le fonti di questa vulnerabilità sono principalmente due: l'inappropriatezza degli standards progettuali del passato con cui questi edifici sono realizzati e l'unicità delle loro caratteristiche funzionali ed ambientali. Particolare considerazione va posta alla loro configurazione planivolumetrica, al sistema strutturale, all'ancoraggio e alla controventatura di tutti gli equipaggiamenti e contenuti (equipaggiamenti meccanici, medici e di supporto alle attività interne).

Nel formulare una proposta di miglioramento o rinforzo strutturale, di fondamentale importanza è considerare il modo con cui minimizzare l'impatto sulle funzioni che si svolgono internamente agli ambienti interessati dall'intervento. Sfortunatamente, gli interventi di riparazione e/o rinforzo creano spesso interruzioni significative di attività con limitazioni d'uso parziali o totali, in relazione all'entità del rinforzo progettato. Per cui, un progetto coerente di rinforzo di una struttura ospedaliera, non si deve limitare a considerare i necessari rinforzi da apportare sul sistema strutturale e su quello degli ancoraggi, ma richiede altresì la riorganizzazione del piano funzionale per consentire l'esecuzione dell'intervento.

3. LA GESTIONE DELL'EMERGENZA POST-SISMICA

Il sisma di Atene del 7 Settembre, come anche quelli più recenti che hanno colpito l'Italia, ha consentito effettuare precise valutazioni riguardanti gli **aspetti gestionali** nella fase critica di emergenza post-terremoto, ponendo in primo piano:

- La carenza di un piano idoneo di soccorso (mancanza di corsie di rapido accesso per i mezzi di trasporto nelle grandi città), predisposizione di *zone attrezzate di accoglienza*, inadeguato numero di mezzi di soccorso, ecc.);
- La complessità di coordinamento dei tecnici, incaricati per la primissima valutazione dei danni, afferenti ad organismi diversi (enti nazionali, regionali o locali);

Molte decisioni socio/politiche in condizioni di emergenza post-terremoto sono strettamente connesse ad aspetti di natura tecnica (attribuzioni di responsabilità per i danni strutturali, definizione della gravità dei danni secondo parametri impugnabili tecnicamente e legalmente, tempi d'attesa tollerabili dalle costruzioni prima degli interventi, ecc.) e richiedono un'adeguata informazione degli interessati. In particolare il mondo politico e la popolazione colpita dal sisma, dovrebbero essere adeguatamente informati sulle **incertezze** con cui i tecnici sono costretti a lavorare, per evitare la caccia alle streghe che puntualmente si verifica subito dopo ogni terremoto, vale a dire:

- La mancanza di norme per i controlli dei materiali in produzione;
- La mancanza di norme riguardanti la verifica delle capacità degli operatori Specializzati;
- Il fatto per cui gli attuali regolamenti sismici riconoscono che:
 - *Le azioni sismiche possono anche eccedere certi valori probabilistici legalizzati*
 - *Il dimensionamento delle sezioni si esplica con coefficienti di sicurezza accettati internazionalmente, anch'essi di carattere probabilistico*
 - *La sicurezza sismica si consegue con il criterio (legalizzato) di "danneggiabilità" di alcuni elementi strutturali se sottoposti al terremoto di progetto*

Un'informazione più precisa su tali fatti avrebbe avuto il benefico effetto di placare le anime e di consentire - in taluni casi - anche la compartecipazione dei cittadini in scelte in bilico tra sicurezza e convenienza.

Altrettanto si può osservare circa il valore della sicurezza socialmente accettabile, valore che si evolve più o meno come il prodotto lordo nazionale e richiede cautela verso decisioni socio/politiche affrettate che possono condurre a situazioni inaccettabili, dal punto di vista economico e pratico, per la generazione attuale.

Più specificatamente, decisioni politiche che comportano ricadute economiche gravose - come quella di decidere sul grado di rinforzo socialmente accettabile per alcune categorie di edifici danneggiati - richiedono ampia collaborazione ed intesa tra il mondo scientifico portatore delle competenze necessarie, e quelli che competono tali decisioni, come sembra si sta verificando in questo momento in Grecia.

4. LE PROCEDURE PER LA VALUTAZIONE DEI DANNI

La fase di rilevamento dei danni in condizioni d'urgenza (URGENCY), fase A, ad Atene è durata circa tre settimane e la gravità dei danni era valutata dai tecnici in base ad un' "ispezione visiva". Con i colori del semaforo (rosso, giallo e verde), si indicava tutta la gamma dei danni: dai crolli parziali o globali (colore rosso), ai danni lievi sulle opere di completamento (colore verde). Stessa procedura è stata seguita in questa fase anche per gli edifici ospedalieri.

Il rispetto delle indicazioni fornite circa l'uso degli edifici non era perseguito legalmente, trovando certamente, sull'onda dell'emotività, la piena disponibilità della popolazione.

Sia gli edifici omologati di IIa categoria (gialli), sia quelli di IIIa categoria, sono stati oggetto di un nuovo ulteriore controllo che aveva un carattere legale diverso dal primo, in quanto lo Stato istituiva la pratica per l'individuazione delle cause dei danni.

La sostanziale differenza tra gli edifici dichiarati gialli e quelli rossi è che i primi non sono idonei all'uso provvisoriamente, mentre i secondi in modo definitivo e dichiarati, tra l'altro, pericolosi (anche per gli edifici e l'ambiente circostante).

Gli edifici maggiormente danneggiati sono quelli realizzati in conformità alla legge sismica del 1959, legge applicata fino al 1985 (anno della sua revisione).

Da notare, che subito dopo il terremoto del 1981, sono state anche perfezionate le prescrizioni per i dettagli costruttivi delle armature in corrispondenza dei punti critici, che sono divenute norme d'attuazione tra il 1984 e il 1985. Per cui, gli edifici in c.a. realizzati precedentemente a tale data, erano carenti circa i dettagli costruttivi e perciò sismicamente vulnerabili; la regola fissa era in pratica quella di porre staffe ϕ 8mm ogni 20 cm, su tutto lo sviluppo dell'elemento portante, nodi compresi.

C'è da precisare però, che la normativa del 1959 si riferiva a costruzioni di limitata importanza (4-5 piani e maglie di 3-4 metri, con muri perimetrali di 20 cm di spessore) e quindi, non era adatta per l'importanza delle costruzioni che si sono realizzate in seguito; infatti, tra il 1965 al 1985, in pratica per circa un ventennio che corrisponde al grande boom d'espansione edilizia verso le periferie della vecchia e circoscritta città di Atene, sono state applicate regole inammissibili per zone sismiche.

Tra le cause ricorrenti di danno in strutture ospedaliere in c.a. è la realizzazione degli edifici su pilotis. Per lo più realizzati negli anni '60 - '70, aventi campate di luci rilevanti e ossature deformabili. Questa tipologia di edifici ha subito il maggior numero di danni e di crolli.

L'ospedale di S. Carlo di Potenza era stato realizzato prima dell'entrata in vigore della nuova zonizzazione sismica italiana, quando Potenza non era quindi considerata zona sismica. La sua struttura in c.a. era su pilotis, con setti di notevole dimensioni, realizzati con calcestruzzo di ottima qualità, come è risultato dall'ispezione ufficiale effettuata dalla scrivente durante la fase d'emergenza, circa 3 mesi dopo il sisma del 30 Novembre 1980.

La maggior parte della struttura portante verticale aveva subito fratture di limitata entità (dell'ordine di alcuni mm), dovute prevalentemente ad azioni flessionali e quindi di lieve entità. Le lesioni sulle travi si presentavano dello stesso ordine di grandezza di quelle dei pilastri, ma erano dovute in prevalenza ad azioni di tipo tagliante, e quindi rientravano nella categoria dei danni seri. Le travi di tipo calante e le pareti di tamponamento (anch'esse lesionate lievemente) interne ai vari reparti erano tappezzate, e ciò ha reso non rilevabili a vista le lesioni, ritardando rispetto ad altri edifici di importanza rilevante, la perizia dei danni. L'edificio successivamente fu adeguato sismicamente, essendo Potenza dichiarata in seguito zona sismica di seconda categoria.

L'ospedale Verderuolo di Potenza, realizzato in muratura, aveva sofferto danni seri, lesioni localizzate sulle pareti portanti dell'ordine di 1-2 cm, ma non gravi (a parere della scrivente che ne ha effettuato la perizia dei danni). Tuttavia, l'obsolescenza dell'edificio e dei sistemi impiantistici hanno indotto alla sua demolizione e ricostruzione. Rimase comunque efficiente per diverso tempo dopo l'evento sismico.

5. INTERVENTI POST-TERREMOTO: PRIORITÀ NELLA MITIGAZIONE DEL RISCHIO

Particolare attenzione è stata posta sulle conseguenze socioeconomiche derivanti dall'applicare le attuali conoscenze tecnico-scientifiche in tutti gli edifici da restaurare o rinforzare. Infatti, molti degli edifici cronologicamente più vecchi, essendo realizzati in base ad azioni sismiche di progetto dimezzate rispetto a quelle previste dalla normativa attuale (e con coefficienti di comportamento circa la metà), l'ambizione bonaria di voler applicare le conoscenze attuali anche a queste strutture, comporterebbe condizioni di riprogettazione quattro volte più sfavorevoli.

I criteri di riprogetto suggeriti si basano sulla distinzione dei danni in: DANNI DI CARATTERE LOCALE e DANNI DI CARATTERE GENERALE.

I primi interessano un numero circoscritto di elementi strutturali portanti i quali non comportano, una volta ripristinati i danni subiti, alcuna alterazione sul comportamento statico dell'edificio (come ad es. la cernierizzazione di tratti di trave in c.a. o la rottura di un maschio murario, oppure la rottura di tamponamenti in laterizio inseriti nelle maglie di alcuni telai in c.a., ecc.). In altri termini, si tratta di danni circoscritti localmente senza conseguenze serie sulla risposta sismica dell'edificio.

I danni di carattere generale invece, sono danni ripetitivi, verificati sull'ossatura portante della costruzione, che danno la convinzione che la struttura non è stata concepita od eseguita correttamente (come ad esempio, danni alle sezioni di sommità dei pilastri di un intero piano, oppure il fuori piombo di una mensola verticale composta di più maschi murari, ecc.). Questo tipo di danno comporta seri rischi per la sicurezza sismica dell'edificio e non è sufficiente intervenire ripristinando le capacità pre-sisma degli elementi danneggiati, ma occorre individuare e correggere le deficienze originarie della costruzione secondo gli standard attuali. Gli interventi richiesti, quindi, sono totalmente differenti per la prima o la seconda caratterizzazione dei danni.

Altri parametri di valutazione suggeriti dalla commissione, sono il coefficiente d'importanza attribuito all'immobile e l'epoca della sua realizzazione. Più specificatamente:

- per gli edifici con danni di carattere locale, è prescritto il ripristino delle capacità originarie degli elementi danneggiati, senza però procedere alla verifica antisismica della struttura;
- per gli edifici con danni di carattere generale, si propone di procedere alla riprogettazione dell'ossatura portante, perseguendo valori dei coefficienti di sicurezza sismica quanto più possibile prossimi a quelli indicati nelle più recenti norme antisismiche greche (NEAK, NEKOS, ecc.), compatibilmente ad altre esigenze di natura tecnica od economica. Questa direttiva dovrebbe riguardare soprattutto gli edifici con alto coefficiente di importanza (come scuole, caserme, ospedali, musei, ecc.).
- Qualora, nel procedere come sopra, si riscontrino problemi irrisolvibili dal punto di vista tecnico e di funzionamento dell'edificio (nel senso dell'uso), allora si dovrebbe procedere all'intervento di ripristino o rinforzo, sulla base della normativa vigente all'epoca di realizzazione dell'edificio, e avendo cura di:
 - applicare i coefficienti sismici del regolamento antisismico del 1959 per gli edifici realizzati prima di tale data;
 - la verifica del dimensionamento degli eventuali elementi aggiunti per il rinforzo, sarà effettuata seguendo i Regolamenti attuali circa i materiali ed amplificando l'azione sismica di 1,75 (onde coprire le differenze tra il metodo delle tensioni ammissibili e quello degli stati limite ultimi).

Per gli edifici su pilotis e quelli che hanno pilastri corti (per lo più edifici ad uso commerciale ed industriale, in quanto presentano la casistica più elevata di danni), si suggerisce di intervenire con scelte costruttive che non modificano il comportamento statico globale dell'organismo portante.

Una particolare attenzione, infine, viene posta alla garanzia di qualità negli interventi di ripristino/rinforzo, sia a livello di progetto, sia nelle scelte costruttive e dei materiali.

Da quanto sopra si evince che, per gli edifici pubblici quali appunto le strutture ospedaliere, prevale l'esigenza di conferire una sicurezza antisismica pari a quella posseduta dalle più recenti costruzioni, nonostante il costo elevato che comporterebbe una tale scelta.

Mentre, com'è ovvio, la stessa decisione non può essere adottata per i due milioni di appartamenti realizzati prima del 1995 (entrata in vigore del NEAK, ultima normativa antisismica), per il semplice motivo che rovinerebbe economicamente la generazione attuale; né d'altra parte una simile decisione è stata mai adottata da altri paesi, anche in quelli ad elevatissima sismicità, come la California e il Giappone.

Ciò significa, d'altra parte, che si accetta per gli edifici di importanza minore (realizzati prima del 1985, anno della revisione delle prime norme antisismiche del 1959), una resistenza sismica più bassa anche se essi sono stati realizzati a regola d'arte, e quindi la maggiore probabilità di subire danni, anche seri, in futuri terremoti.

In ogni caso, non si esclude che gli edifici realizzati in conformità alle ultime norme possono subire danni, sia perché la danneggiabilità è prevista dalle norme stesse, sia perché è stata adottata una probabilità del 10% che l'azione sismica di progetto venga superata.

6. MODELLI PRESTAZIONALI PER IL CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE

Come già esposto in precedenza, la maggior parte dei danni strutturali osservati dopo sisma, sono attribuibili alle non conformità alle norme sismiche vigenti e alla scarsa qualità d'esecuzione; in altri termini, alla mancanza di controlli di qualità.

Le normative tecniche vigenti, specificano solo parzialmente i livelli necessari di qualità delle indagini analitiche e/o strumentali su strutture esistenti. Il grado d'incertezza nelle diverse fasi del processo diagnostico può, perciò, risultare molto variabile da caso a caso e la scelta del livello di garanzia di qualità (QA), dipenderà dalla complessità dell'indagine, dal livello tecnologico della strumentazione necessaria per le prove in situ o in laboratorio, dalle conseguenze che un eventuale errore potrà comportare sulla qualità del progetto di intervento, dai tempi e dalle risorse disponibili.

Per tener conto delle incertezze nelle diverse fasi decisionali delle analisi strutturali nel processo di ri-progettazione, si possono seguire due approcci diversi:

- I) s'introducono coefficienti appropriati da applicare in fase d'interpretazione dei dati ricavati sia analiticamente che strumentalmente, oppure
- II) si cerca di ridurre al minimo le incertezze presenti attraverso appropriati strumenti di gestione della qualità.

Si tratta di due linee di approccio molto differenti una d'altra, entrambe prese in considerazione dalle normative internazionali, che si sviluppano seguendo procedure note, ma non ancora approfondite per interventi strutturali di rinforzo o consolidamento.

Seguono il primo tipo d'approccio le norme statunitensi FEMA 273¹, che introducono un "fattore di conoscenza" dipendente dall'affidabilità delle indagini, mentre il secondo modo di affrontare il problema, è quello adottato dalle norme europee ISO 9000. Seguendo l'uno o l'altro approccio, i livelli di qualità ottenibili, dipendono in pratica dall'accuratezza con cui si espletano le azioni fondamentali previste dal sistema di assicurazione della qualità adottato (programmazione, organizzazione, controllo dei documenti, controllo del progetto, controllo degli strumenti ed

¹ Sono proposti due diversi valori di tale fattore, indicato come "Knowledge factor", K, e precisamente: K=0,75 per livelli di conoscenza definiti "minimi", e K=1 per livelli di conoscenza detti "comprensibili". La norma fa riferimento ad interventi in zona sismica.

equipaggiamenti, controllo del processo, controllo dei saggi e delle prove in situ e in laboratorio, controllo delle disuniformità, controllo dei registri, valutazione).

6.1 Approccio volto a minimizzare i rischi introducendo *coefficienti di conoscenza riduttivi*

Una volta definito il grado di qualità atteso, tutte le azioni interne al sistema di qualità (qualora ne fosse adottato uno) sono rivolte a: definirla, ottenerla, provarla, dimostrarla e mantenerla; mentre, l'assicurazione della qualità è maggiormente focalizzata sugli aspetti gestionali, allo scopo di produrre prove che assicurano del fatto che le cinque azioni sopraccitate siano state effettivamente attuate.

Per l'ottenimento del primo livello di qualità vanno rispettate le *condizioni minime*, ritenute necessarie per conseguire la qualità; ad esempio, nel caso di una campagna diagnostica le condizioni considerate minime secondo la norma 89/106/EEC, ANNEX IV, sono:

1. disponibilità di personale, mezzi ed equipaggiamenti occorrenti;
2. competenza tecnica ed integrità professionale del personale;
3. imparzialità nel condurre le prove, preparare i rapporti, nell'approntare i certificati e nel applicare le direttive relative alla sorveglianza dello staff operativo, del personale tecnico afferente ai diversi gruppi di lavoro e circuiti interni, direttamente o indirettamente coinvolti con i prodotti di un'indagine (risultati di indagine: letture dati, elaborazione dati, ecc.);
4. segretezza professionale da parte del personale utilizzato per le prove;
5. stipula di un'assicurazione se non è obbligatoria in quello stato come direttiva nazionale.

La normativa statunitense ASCE FEMA 273, specifica invece le necessarie raggiungere lo stesso livello di conoscenza, ossia:

- esame della documentazione della costruzione (elaborati strutturali ed architettonici) e prescrivendo di procedere, in assenza dei disegni strutturali, al rilievo della struttura; piuttosto
- verifica visiva della rispondenza della struttura alla documentazione raccolta, dove sussiste l'accessibilità immediata.
- prove in situ (il minimo necessario) per quantificare le proprietà dei materiali, le condizioni dei vari componenti e le diminuzioni delle sezioni resistenti degli elementi strutturali primari. In alternativa, sono forniti dei valori indicativi circa le resistenze, sulla base delle osservazioni visive espletate su tali elementi. Si può procedere per gruppi omogenei, qualora il *coefficiente di variazione* tra i componenti appartenenti ad uno stesso gruppo non superi il 30%.
- per condizioni geologiche e geotecniche che presentano rischi particolari, come ad es., la liquefazione del terreno di fondazione, e per gli effetti d'interazione tra strutture adiacenti, occorre in tutti i casi procedere con appropriate indagini ed analisi numeriche.

Per indagini conoscitive più approfondite, che consentono invece l'ottenimento del secondo livello di assicurazione della qualità, occorre la disponibilità di tutti i documenti di progetto originario (con tutte le specificazioni dettagliate) nonché dei dati relativi alle modifiche nel corso di utilizzazione del bene; qualora tali documenti manchino, è necessario procedere ad *indagini dettagliate sia distruttive che non distruttive* allo scopo di determinare per tutti gli elementi portanti le principali caratteristiche geometriche e meccaniche, comprese quelle dei componenti non a vista (armature interne, elementi di rinforzo, ecc.). Anche gli elementi tecnici secondari più rappresentativi, devono essere documentati adeguatamente.

Si richiedono parallelamente *prove in situ esaustive* per la quantificazione delle proprietà fisico-meccaniche dei materiali, da effettuarsi seguendo un Sistema di Assicurazione di Qualità. Il *coefficiente di variabilità* dei risultati dei test eseguiti per determinare la resistenza dei materiali, deve risultare minore del 20%, e, se ciò non si verifici, occorre effettuare ulteriori test fino a quanto non si raggiunge tale limite di variabilità.

Per le situazioni di maggior rischio (fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione, cedimenti differenziali, ecc.) le indagini comprendono appropriate ed estese prove strumentali, in situ ed in laboratorio, con la raccomandazione che siano estese su tutti gli elementi tecnici del sistema in esame, e con lo stesso grado di approfondimento (stesso valore del *coefficiente di conoscenza k*). Se ciò rende lo studio esageratamente esteso per alcuni componenti dell'edificio, allora è consentito di adottare per loro un valore appropriato del coefficiente di conoscenza *k*, multiplo di quell'assunto per gli altri componenti dello stesso gruppo. Ovviamente, quanto è necessario effettuare analisi strutturali di tipo non lineare, il coefficiente di approfondimento delle indagini sullo stato di fatto, prima e dopo l'intervento, deve risultare $k=1$.

6. 2 Approccio volto alla prevenzione delle non conformità

Seguendo la linea di ridurre il più possibile i rischi di non conformità, la *fase conoscitiva prima e dopo l'intervento* di consolidamento e/o rinforzo, innesca un processo di valutazione dei livelli prestazionali temporali, che comporta spesso – anche per opere di modesta complessità – rischi difficilmente valutabili o quantificabili a priori.

Durante il processo di conoscenza, considerato nel suo insieme e in ciò che lo relaziona con la qualità, si possono riscontare rischi connessi alle seguenti attività:

Previsione dettagliata di tutto ciò che influisce sulla qualità, che consente di definire obiettivi e requisiti del progetto d'intervento, adottare un'adeguata struttura organizzativa e individuare le risorse necessarie per l'espletamento delle analisi strumentali e non, ecc.;

Determinazione di tutte le azioni previste, che presuppone l'adozione di norme e procedimenti, l'identificazione degli elementi da indagare, l'acquisizione dei dati (con ispezioni o con prove), la loro comprovazione, la predisposizione di misure correttive, ecc.;

Documentazione di tutte le attuazioni sia per giustificare le stesse, sia per un loro uso postumo, il che richiede trasparenza, oggettivazione delle attuazioni, offerta di garanzie, disponibilità di informazione, ecc..

Gli strumenti di attuazione delle voci a), b) e c), spettanti ai responsabili del progetto conoscitivo ed all'organizzazione che materialmente esegue le indagini, seguono, internazionalmente, *l'approccio prestazionale*. In particolare:

Al responsabile del progetto di conoscenza si richiede il *conseguimento del grado di qualità* richiesto dalla committenza ed imposto dalle norme cogenti in materia di qualità, adottando approcci metodologici tali da postulare una chiara impostazione di concetti, metodi, strumenti e tecniche di rilevamento e di analisi, nel rispetto dei vincoli esistenti;

Al responsabile del piano di qualità, spetta la *funzione di controllo* (definizione dei metodi e dei piani di controllo); l'ispezione e la definizione dei criteri di accettazione-omologazione-certificazione, nonché la comprovazione ed esame dei documenti.

Alla società di diagnostica (SdD) spettano tutte le azioni *che assicurano la qualità delle prestazioni offerte*, affinché i risultati di prova siano affidabili e compatibili con il livello di qualità richiesto dal progettista. Di conseguenza, alla *SdD* competono anche la definizione e la predisposizione dei programmi di prova.

E' evidente perciò, che si tratta di improntare il problema della qualità su livelli interdisciplinari, svolgendo attività di gestione e di controllo all'interno dell'intero processo, armonizzando e integrando le nuove tecniche di analisi teoriche e strumentali alla complessità richiesta dal caso in esame.

7. FASE DI ESPLORAZIONE DELLA STRUTTURA

L'approccio di conoscenza degli edifici ospedalieri può essere basato sulla definizione delle prestazioni richieste per il funzionamento, e dei relativi requisiti di riprogetto. Tali requisiti riguardano, in particolare, i contesti funzionale, tecnologico e sociologico-economico.

All'interno del contesto tecnologico, i requisiti prevalenti del ri-progetto (riparazione, miglioramento, adeguamento), sono: la sicurezza e la ri-occupazione dei reparti; per ciascuno di questi, occorre stabilire parametri di misurazione, che implicano l'uso di scale e di altri mezzi di quantificazione delle prestazioni strutturali prima e dopo dell'intervento.

Il processo di valutazione delle prestazioni residue deve essere comunque comparativo, ossia: prima e dopo l'intervento (prestazioni iniziali o residue).

I passi fondamentali percorribili nella specificità degli interventi di rinforzo strutturale, indirizzano alla ricerca di un parametro prestazionale globale, sufficientemente rappresentativo delle modifiche prestazionali apportate alla struttura da ciascuna delle possibili soluzioni progettuali, sulla base del quale ottimizzare la scelta finale. Più specificatamente:

- 1) Valutazione della resistenza minima richiesta (R_{dmin}) in funzione della durata di vita convenzionale (L_t) e della probabilità di danno strutturale futuro (P_f) accettata socialmente

$$R_{dmin} = S_d (L_t \times P_f);$$

- 2) Considerare diverse soluzioni strutturali, assumendo per tutte lo stesso valore della resistenza minima richiesta con l'intervento.

La vasta gamma di soluzioni possibili deriva dalle diversità delle strategie di consolidamento, che sono sostanzialmente di tre tipi: *incrementare la resistenza e diminuire la duttilità, incrementare sia la resistenza che la duttilità, oppure, diminuire la resistenza ed incrementare la duttilità.*

- 3) Valutazione dei livelli prestazionali ottenibili con ciascuna delle soluzioni individuate nel precedente passo, ossia:

$$\text{Soluzione 1} \quad \Rightarrow D_1, I_1, R_{V1}, R_{O1}$$

$$\text{Soluzione 2} \quad \Rightarrow D_2, I_2, R_{V2}, R_{O2}$$

$$\text{Soluzione 3} \quad \Rightarrow D_3, I_3, R_{V3}, R_{O3}$$

e così via

- 4)

- a) Scartare le soluzioni che non soddisfino la condizione:

$$f_D + f_I + f_{Rv} + f_{Ro} = 1$$

(la funzione f , può essere sia di carattere deterministico, sia semiprobabilistico)

- 5) Calcolare per tutte le soluzioni che soddisfino la condizione indicata nel passo precedente "l'indice di massima prestazione" (IMP) ossia la variazione delle prestazioni attese (o richieste) da ciascuno dei requisiti stabiliti, parametro che costituirà la base per la comparazione delle soluzioni ritenute idonee per il consolidamento della struttura in esame:

$$(IMP) = f_D (D_{rs} - D_{rq}) + f_I (I_{rs} - I_{rq}) + f_{Rv} (R_{Vrs} - R_{Vrq}) + f_{Ro} (R_{Ors} - R_{Orq})$$

rs : valore prestazionale residuo (prima dell'intervento)

rq : valore prestazionale richiesto da un specifica soluzione progettuale

- 6) Ricerca della soluzione che ottimizza le prestazioni strutturali (soluzione con più alto valore dell'indice IMP), oppure di quella che offre i massimi benefici rispetto ai costi globali dell'intervento.

L'aspetto economico influisce sugli standards performativi accettati e attesi, ma anche la tecnologia è un altro potenziale modificatore di questi standards, specie se la soluzione tecnologica proposta, rende possibile raggiungere livelli prestazionali superiori rispetto ad un'altra soluzione, con costi extra nulli. L'interesse di questo procedimento sta anche nel fatto che suggerisce di considerare un vasto raggio di parametri multicriteri nella la ri-progettazione, e di differenziare le soluzioni in relazione alle esigenze funzionali.

6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I passati terremoti in Italia e in Grecia, hanno messo in evidenza la vulnerabilità sismica delle strutture ospedaliere e l'esigenza di considerare negli interventi di rinforzo tutte le deficienze strutturali e non strutturali, individuando soluzioni tecniche che, oltre a rimediare a tali deficienze, evitano possibili limitazioni d'uso dei reparti.

Adattare le strutture sanitarie agli standards normativi odierni, rappresenta una soluzione non realistica per interventi su scala territoriale, mentre è necessario sviluppare soluzioni di mitigazione del rischio sismico secondo un preciso ordine di priorità che riducono la vulnerabilità sismica.

Un programma realistico per conferire una maggiore resistenza sismica alle strutture ospedaliere si deve basare sulla determinazione di un livello di miglioramento sismico e i benefici economici derivanti, considerando che potrebbe risultare economicamente più conveniente rinforzare le strutture solo agli effetti della sicurezza di vita degli occupanti per sismi maggiori, affidando parallelamente parte delle funzioni presso strutture provvisorie temporanee funzionanti per il periodo necessario agli interventi. Inoltre, i progetti di miglioramento/rinforzo, devono includere l'eliminazione delle deficienze rilevate a livello architettonico-impiantistico e quello delle finiture.



Fig1SanCarloPZ



Fig2SanCarloPZ



Fig3 OspAtene1



Fig.4 OspAtene



Fig5VerderuoloPz



Fig6VerderuoloPz2