

# CRITERI DI PROTEZIONE SISMICA DEGLI IMPIANTI

Tito Sanò  
ANPA Via Vitaliano Brancati 48-Roma

## **Sommario:**

La protezione sismica delle installazioni industriali è di primaria importanza perché il terremoto può essere una causa comune di guasto per tutti i sistemi in esse contenuti.

Non esistendo una normativa specifica in Italia per gli impianti degli insediamenti civili ed industriali, è necessario ricorrere ai criteri usati in altre nazioni, in particolare gli USA, oppure a quelli sviluppati in altri campi come quello nucleare. In questo rapporto sono descritti alcuni criteri di progettazione e metodologie di protezione derivati dall'esperienza delle analisi di sicurezza delle installazioni nucleari e adattate al minore livello di rischio potenziale di quelle non nucleari. Per quanto riguarda la revisione dei vecchi impianti sono descritti alcuni provvedimenti pratici, dettati dalle esperienze delle indagini post-terremoto e dal giudizio professionale, che sono in grado di produrre in tempi relativamente brevi miglioramenti significativi sotto il profilo della protezione dal terremoto. I criteri e metodologie descritti sono stati testati nella revisione sismica di un ospedale nella regione Emilia-Romagna e verificati nelle indagini dopo i terremoti del Friuli (1976), dell'Irpinia (1980) e dell'Umbria-Marche del 1997

## **1. Introduzione**

Lo scopo di questo rapporto è di fare una brevissima rassegna, sicuramente non esaustiva, dei criteri di protezione sismica degli impianti e quindi di fornire qualche esempio pratico di attuazione di tali criteri. Essi sono in gran parte derivati da quelli per gli impianti nucleari, ma adattati a condizioni di minore rischio potenziale. Esiste attualmente una lacuna normativa e di standards, infatti la protezione sismica degli impianti non ha ricevuto un'adeguata attenzione fino a qualche anno fa. Un'eccezione è stata la componentistica nucleare per la quale in Italia, sin da 30 anni, si è dovuto affrontare in dettaglio il problema della sicurezza sia in fase di progetto, sia in quella di revisione dei vecchi impianti. In tutta la catena del processo di progettazione e di revisione, infatti, i componenti importanti per la sicurezza rappresentano spesso l'anello critico determinante il rischio d'incidente nucleare. Sulla scia di quanto fatto in altre nazioni sono stati fatti studi e messi a punto criteri e metodologie di progettazione e revisione e, specialmente nel campo nucleare, si sono fatti sostanziali passi avanti nella definizione dei criteri e nella loro standardizzazione. Anche per le installazioni non nucleari c'è, negli ultimi anni, uno sviluppo di studi e ricerche testimoniati da guide tecniche, pubblicazioni e convegni, specie in U.S.A. [4,5,6].

Da qualche anno, dopo il referendum del 1987 che ha portato ad uno stop del nucleare, alcune delle metodologie messe a punto sono state trasferite ed adeguate ad altri sistemi, quali quelli ospedalieri [1,2,3]. Anche essi, come gli impianti nucleari, necessitano di funzionare dopo l'evento sismico. Esistono le premesse quindi per estendere ad altri sistemi i criteri di protezione degli impianti tenendo conto sia della loro importanza per la sicurezza, sia del loro valore economico. Esiste già una ricca raccolta, specie in U.S.A. di dati sugli effetti dei terremoti sui componenti delle installazioni industriali. Tali raccolte si sono sviluppate specie in occasione del programma SSMRP (Seismic Safety Margin Research Program) degli USA di revisione sismica degli impianti nucleari, in seguito della ridefinizione del terremoto di progetto che ha portato spesso ad un aumento del carico sismico. Il programma ha comportato un'intensa attività di ricerca e di indagine sugli effetti dei terremoti su tutti gli impianti esistenti, anche non nucleari, che hanno subito dei terremoti. Si è formata quindi una banca dati che è servita come base di esperienza e di supporto alle decisioni sugli interventi di modifica degli impianti.

## **2. Carico sismico**

La Legge 64 del 1974 prevedeva che, oltre il DM attuativo 16-01-96 (Norme tecniche valide per le abitazioni), anche l'emanazione di altre norme per opere speciali quali ponti, dighe, serbatoi, tubazioni ecc. Tali ulteriori norme, escluse quelle per i ponti, non sono mai state emanate. Va sottolineato che, con la sola normativa attuale, è estremamente difficile progettare o valutare la resistenza sismica dei componenti o in ogni caso di quelle strutture cui è richiesta la funzionalità dopo il terremoto. Infatti, il carico sismico di progetto, come descritto attualmente, non dà indicazione delle caratteristiche del moto vibratorio. Esso

rappresenta solo un carico statico che, se applicato con alcune regole alla struttura civile, assicura, con alta probabilità, che essa non crolli sotto l'azione di un terremoto violento. Il suo scopo è quindi di proteggere la vita della popolazione pur accettando peraltro notevoli danni alle strutture portanti. Ci si rende conto che, volendo salvaguardare alcuni componenti e la loro funzionalità, è necessario sia che la struttura portante rimanga integra o almeno non sia essa stessa causa di danno, sia che il carico vibratorio indotto dal sisma venga specificato in dettaglio. Va aggiunto che in realtà la normativa ha cercato di salvaguardare gli edifici importanti per la sicurezza e per la protezione civile, quali gli ospedali ed alcuni uffici pubblici, introducendo un coefficiente d'importanza, cioè un carico aggiuntivo di progetto, ma non è sempre vero che una maggiore resistenza si accoppia con una migliore risposta. Un edificio può pure rimanere integro, ma ciò non salvaguarda tutti i sistemi ed i componenti in esso contenuti e quindi la sua funzionalità, se anche questi ultimi non sono progettati adeguatamente.

Le normative più moderne definiscono il moto vibratorio di progetto sotto forma di uno spettro di risposta in accelerazione, elastico, il cui andamento normalizzato è congruente con le caratteristiche della sorgente (magnitudo, profondità ipocentrale, distanza) degli eventi che possono interessare il sito, nonché con le proprietà morfologiche e geotecniche del sito stesso. La normativa europea: EC8[7], propone tre spettri di risposta con smorzamento del 5% per tre siti caratteristici: il primo per suolo rigido, il secondo per suolo medio ed il terzo per suolo soffice. Tali spettri normalizzati sono riportati nella fig. 1. Il loro fattore di scala costituisce l'ordinata dello spettro per  $T=0$ , la quale è correlata al valore di picco dell'accelerazione del suolo. Le ordinate degli spettri nella Fig. 1 tuttavia non sono relativi ad un singolo evento sismico, ma all'insieme degli eventi che possono verificarsi nel sito. Esse si ricavano mediante procedimenti statistico-probabilistici d'uso ormai corrente, i quali consentono di ottenere valori delle ordinate caratterizzati da un unico, prefissato, valore della probabilità di venire superato posto che accada un evento al sito. Gli spettri del tipo nella Fig. 1 si indicano con il nome di spettri isoprobabili. Spesso, in caso che non sia disponibile un numero sufficiente di spettri per fare una statistica per il sito in esame, come per ad esempio nel caso dell'EC8, si ricorre a spettri ricavati su siti simili per caratteristiche meccaniche del terreno, per distanza e per caratteristiche della sorgente, ottenendo uno spettro medio invece che uno spettro isoprobabile.

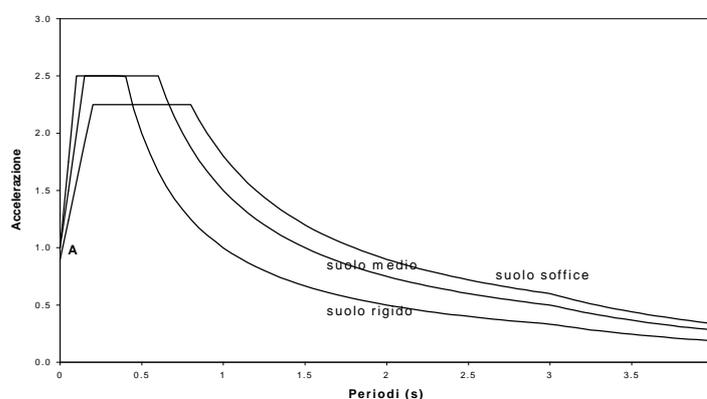


Fig. 1 Spettri proposti dall'EC8

Per completezza, si può aggiungere che dato un generico spettro di risposta, è sempre possibile ricavare a posteriori una famiglia di accelerogrammi (detti perciò artificiali) che singolarmente o nella loro media danno uno spettro di risposta compatibile (non uguale, a meno di valutare la media su un numero infinito di spettri generati) a quello di partenza. L'uso di accelerogrammi per la descrizione del moto del terreno è indispensabile quando sono da eseguire analisi dinamiche in campo non-lineare o per generare, come si vedrà in seguito, gli spettri di piano.

Va detto che l'azione sismica di progetto è per definizione l'azione che, utilizzata per progettare una costruzione, consente ad essa di sopravvivere in un certo stato, che può essere elastico o di deformazione plastica, ad un evento sismico caratterizzato dal prefissato periodo di ritorno. Nel caso della normativa europea esso è di 475 anni, nel caso delle costruzioni nucleari di 10000 anni. La scelta del periodo di ritorno dipende dal rischio accettato di danno alla popolazione.

Allo stato attuale in pratica il progetto delle abitazioni viene eseguito sulla base di forze assegnate e con l'uso di modelli di calcolo lineari. Si tiene conto, nello stesso tempo, che esse possono danneggiarsi pur senza crollare. L'azione sismica pertanto viene ridotta ad una frazione dell'azione cui la struttura andrebbe soggetta per effetto dell'evento sismico sopra definito se il suo comportamento fosse indefinitamente elastico. Praticamente le ordinate dello spettro di risposta elastico vengono divise per un fattore, detto fattore di

struttura o di comportamento, per arrivare ad uno spettro denominato spettro di progetto. Ovviamente, nel caso si voglia proteggere la componentistica o le strutture non portanti contenute negli edifici, il carico sismico non può essere ridotto in tal maniera.

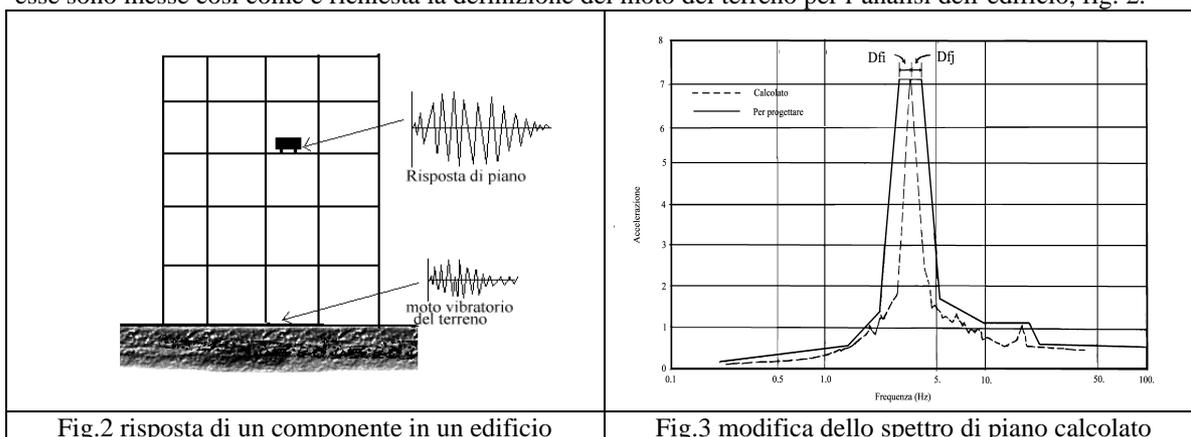
Nelle linee guida per la progettazione esecuzione e collaudo di strutture isolate del consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, per la prima volta in Italia, viene definito l'input sismico con uno spettro di risposta elastico, così come la normativa europea, e vengono fissati i valori di ancoraggio a  $T=0$  delle accelerazioni: 0.15, 0.25 e 0.35 g a seconda della zona sismica. Tali spettri potrebbero, in attesa di una normativa specifica, servire alla progettazione dei componenti impiantistici.

### 3. Definizione del carico sulle appendici

Come è stato già detto prima i componenti essenziali devono rimanere funzionanti dopo il terremoto ed, in alcuni casi come nelle centrali nucleari, devono restare funzionanti anche durante i pochi secondi dell'evento sismico. Possono essere considerati essenziali sia i componenti importanti per la sicurezza e l'incolumità delle persone, sia quelli importanti per il loro valore economico. Sotto tale aspetto sono importanti, per esempio, le apparecchiature della sala operatoria di un ospedale, il suo impianto elettrico, i diesel di emergenza, oppure un edificio contenente costose apparecchiature elettroniche.

La definizione del carico sismico sui componenti disposti in edifici e, in genere, sulle appendici strutturali parte dall'ipotesi che esse stesse siano di peso limitato, tale che sia trascurabile la controreazione operata sulla struttura portante dalle forze di inerzia sviluppate sulle appendici. Quando questo peso è rilevante, esse possono essere incorporate nel modello dinamico dell'intero edificio che le contiene.

L'analisi del comportamento delle appendici richiede che sia definito il moto vibratorio della soletta dove esse sono messe così come è richiesta la definizione del moto del terreno per l'analisi dell'edificio, fig. 2.



Esso può essere ricavato da un'analisi dinamica dell'edificio senza appendici, sottoposto al moto vibratorio del terreno. L'accelerogramma o lo spettro di risposta così ottenuti nel piano dove sarà collocato il componente si chiamano "accelerogramma o spettro di piano" e possono essere usati per l'analisi del suo comportamento. Esistono anche metodi approssimati che permettono di ottenere lo spettro di piano a partire dallo spettro di risposta sul terreno e dalle caratteristiche dinamiche dell'edificio (Metodo di Biggs e Roesset descritto in [9]), ma, data la facilità dell'uso di programmi numerici di analisi dinamica degli edifici, è più conveniente ricavare gli spettri di piano direttamente dall'analisi.

Lo spettro di piano, così come è calcolato, si presenta in forma frastagliata, con evidenti picchi e valli che sono spesso legati alla particolare "time history" utilizzata per l'analisi dinamica e, in special modo alla modellazione della struttura e, nel caso ci sia un evidente effetto di interazione con il terreno, alle caratteristiche meccaniche assunte per quest'ultimo. Per la presenza di tutte le incertezze sopra citate si consiglia di fare un'operazione di addolcimento e allargamento dei picchi, come riportato in molti manuali o normative [10,11] e mostrato nella figura 3.

Alcune normative, specie quelle relative alla progettazione di edifici, come l'Uniform Building Code degli Stati Uniti o alcune linee guida dell'IAEA [17], prescrivono per gli elementi non strutturali delle forze statiche orizzontali semplicemente per un coefficiente che dipende dall'altezza del piano su cui è installato, dalla sua flessibilità, dal suo peso e dalla sua importanza.

Naturalmente l'analisi con tale carico è indicata per quei componenti la cui funzionalità dipende solo dalla resistenza oppure per dimensionarne gli ancoraggi.

#### 4. Protezione dei componenti.

I criteri di protezione dei componenti cambiano a seconda che essi siano passivi o attivi. Per quelli passivi, per i quali non è richiesta la funzionalità, ma solo la resistenza alle sollecitazioni, i criteri non sono differenti da quelli usuali per un'opera civile. Facendo riferimento, per esempio a contenitori, scambiatori di calore, tubazioni, è necessario che essi non si rompano e perdano la capacità di contenimento. È sufficiente quindi un controllo delle tensioni cui tali componenti sono soggetti. Molti malfunzionamenti sono spesso dovuti alla rottura dei collegamenti alle strutture di base per effetto sia della forza di inerzia agente sui componenti, sia ad eventuali spostamenti differenziali come nel caso di supporti multipli. Perciò gli ancoraggi devono avere sufficiente resistenza al carico sismico e nello stesso tempo una buona duttilità. Gli ancoraggi sono

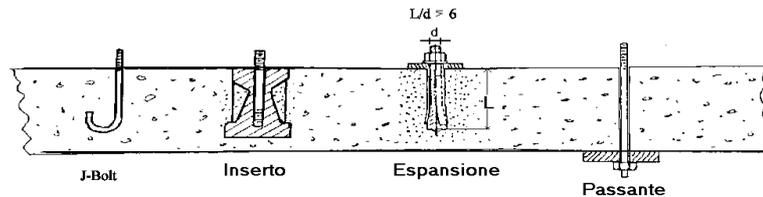


Fig. 4 Schemi di ancoraggi.

considerati così importanti che alcune normative e guide tecniche ne curano i dettagli, come mostrato nella figura 4 presa dalla linea guida IAEA [17]. In tale linea guida si suggerisce che gli ancoraggi siano inglobati



Fig. 5 Batterie per le lampade scialitiche nell'ospedale di Foligno,  
a) senza vincoli b) con vincoli

nel calcestruzzo per almeno 6 volte il loro diametro e che il coefficiente di sicurezza a rottura o a estrazione sia almeno uguale a 2.5. Una particolare attenzione va rivolta ai componenti non vincolati che possono essere soggetti a ribaltamento oppure a quelli posti in posizione sopraelevata che possono cascare. Un tipico esempio è costituito dai banchi di batterie. Nella figura 5 è mostrato il caso dell'ospedale di Foligno in cui sono posti a confronto il caso di batterie ben vincolate ed il caso contrario in cui sono diventate inutilizzabili. In alcuni casi è necessario controllare anche gli spostamenti per evitare gli urti. Questo è il caso tipico di tubazioni, che sono flessibili e devono essere in grado di dilatarsi termicamente e che sotto l'azione sismica possono urtare con corpi adiacenti. Un controllo degli spostamenti relativi va anche effettuato tra strutture massicce in modo da evitare tranciamenti di collegamenti elettrici o di piccole tubazioni di collegamento, come le tubazioni dei gas medicali che trasportano ossigeno, azoto ecc. negli ospedali. Nella figura 6 sono mostrati degli schemi di collegamento dei cavi elettrici ai componenti (blocchi di batterie, quadri elettrici), come consigliato dalla IAEA (International Atomic Energy Agency) per i componenti nucleari in installazioni a basso rilascio di radioattività [17]. Una grande attenzione va posta là dove ci sono grandi spostamenti relativi specie in prossimità di giunti strutturali oppure ai punti di ingresso negli edifici delle linee di tubazioni o elettriche. Tutte le linee, tubazioni, passerelle e collegamenti elettrici devono permettere tali spostamenti o con laschi sufficienti o con elementi molto flessibili. Nella figura 7 e 8 sono riportati degli schemi di collegamento consigliati dalla IAEA [17].

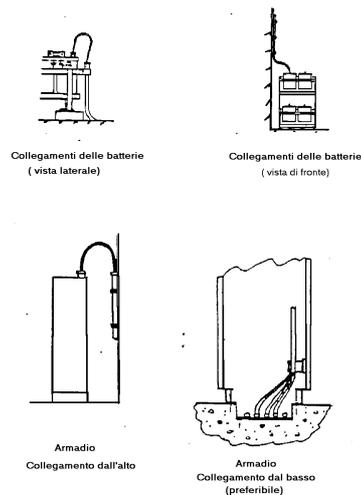


Fig. 6 schemi di connessioni elettriche

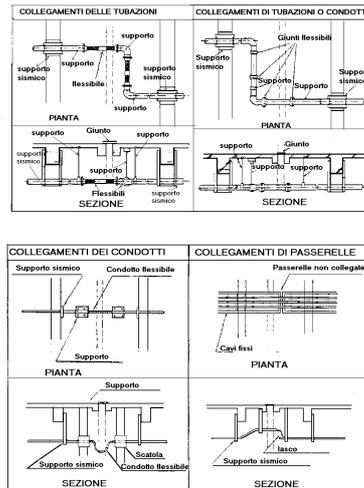


Fig. 7 collegamenti in prossimità dei giunti

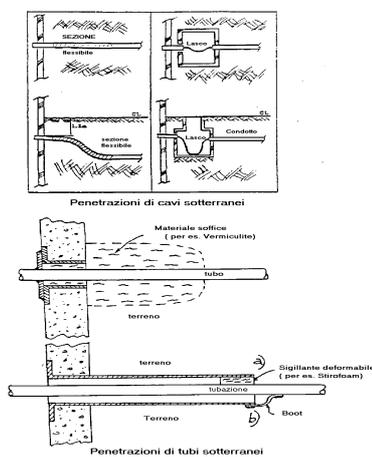


Fig. 8 Collegamenti nelle zone di penetrazione

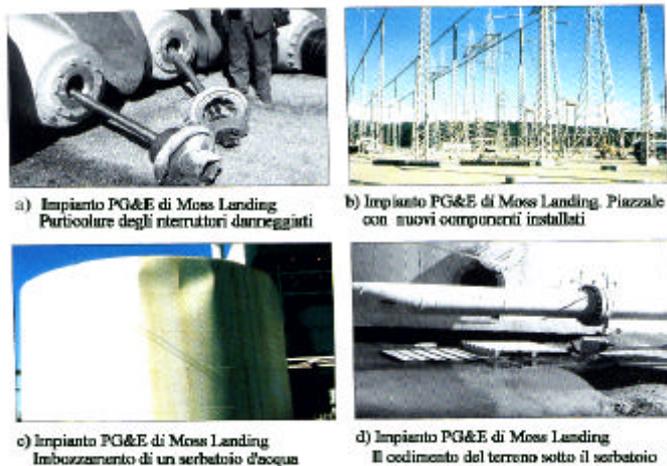


Fig. 9 Danni all'impianto di Moss Landing

Per quanto riguarda i componenti essenziali attivi, è necessario assicurare per essi anche la capacità di rimanere funzionali. Un criterio, usato per le installazioni nucleari, è quello di ricorrere alla qualificazione mediante prove su tavola vibrante. Tali prove sono standardizzate, vedi per esempio le norme IEEE [12] o quelle dell'ente di controllo nucleare americano [13]. Esse richiedono che il componente sia posto su tavola vibrante e sottoposto ad un carico vibratorio superiore a quello caratterizzato dallo spettro di progetto di piano e a volte, come già detto, viene verificato che il componente funzioni anche durante la prova. Spesso tali componenti vengono provati insieme con la loro struttura di supporto, come i pannelli o gli armadi o i "racks" anche per evitare una nuova incertezza nel calcolare il carico dinamico al livello su cui essi sono collocati. L'eccitazione deve essere nelle tre direzioni a meno che ci siano situazioni di simmetria.

Le normative citate ammettono la qualificazione mediante analisi sia nel caso di grosse dimensioni (come una grande turbina) e quindi difficoltà di reperire tavole vibranti adeguate, sia nel caso che la funzionalità sia assicurata dall'integrità stessa del componente. A volte risulta conveniente combinare prove sperimentali ed analisi. L'analisi è essenzialmente rivolta a dimostrare che gli spostamenti relativi degli elementi strutturali, costituenti la particolare apparecchiatura, non siano tali da impedire i loro movimenti, come nel caso del rotore e statore, ecc..

Nel caso di serbatoi è necessario analizzare sia la struttura del contenitore, sia il liquido, tenendo conto anche dello sciacquo (sloshing effect), specialmente se può essere dannosa la fuoriuscita di un eventuale liquido inquinante. Lo sloshing può procurare nei serbatoi chiusi un vuoto nella zona alta conseguente alle onde che si creano sulla superficie. È necessario quindi installare dei rompi vuoto in cima al serbatoio. Nella fig. 9 è mostrato il danneggiamento di un serbatoio chiuso in un impianto di produzione di energia elettrica, impianto di Moss Landing, in California durante il terremoto di Loma Prieta (1995). In questo caso, il serbatoio si è

deformato, per instabilità locale del guscio, per l'improvviso vuoto dovuto alla fuoriuscita dell'acqua in esso contenuta in seguito alla rottura alla base.

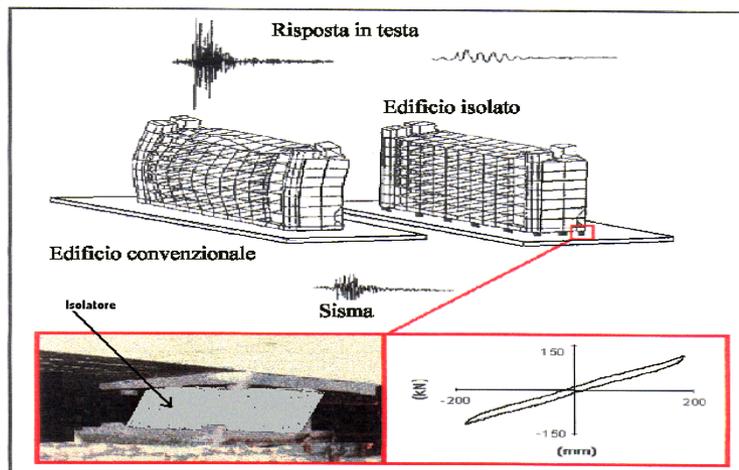


Fig. 10 Comportamento di un edificio su isolatori

Negli ultimi anni sono state messe a punto alcune tecniche antisismiche innovative in grado di migliorare la protezione delle strutture, inclusi gli impianti industriali ed i loro componenti [18]. Esse si basano sulla drastica riduzione delle forze sismiche agenti sulla struttura piuttosto che affidarsi alla sua resistenza, applicando alla base dei sistemi molto flessibili ( ad esempio, isolatori in gomma, fig.10 [15]). Tali sistemi permettono di “filtrare” l’energia sismica trasmessa dal terreno riducendo drasticamente le sollecitazioni all’interno. Le deformazioni si concentrano al livello degli isolatori, mentre l’edificio si muove quasi come un corpo rigido a bassa frequenza riducendo così sia le sollecitazioni sia gli spostamenti differenziali dei sistemi in esso contenuti.

I forti terremoti che hanno colpito le aree di San Francisco (Loma Prieta, 1989), Los Angeles (Northridge, 1994) e Kobe (Great Hanshin-Awaji, 1995) hanno dimostrato l’ottimo comportamento degli edifici isolati. L’isolamento sismico trova numerose applicazioni in strutture sia di nuova costruzione, sia esistenti (ponti e viadotti, edifici civili ed industriali, impianti ) non solo in Giappone e negli Stati Uniti, ma anche in Italia che è al livello mondiale il paese ove sono più numerose le applicazioni ai ponti ed ai viadotti e che ha acquisito un ruolo di leadership a livello europeo. Ovviamente l’isolamento sismico viene anche utilizzato per singoli componenti, specie per grandi serbatoi.

##### **5. Alcune considerazioni sulla revisione sismica di vecchi impianti.**

Nel caso di vecchi impianti, il problema da risolvere è complicato oltre che dalla mancanza di una normativa sismica, per questo non è possibile parlare di adeguamento, anche dal fatto che la sostituzione dei sistemi e dei componenti può diventare eccessivamente costosa specialmente se originariamente non sono stati progettati per resistere a sisma. Va infatti posto in evidenza che il progettare un impianto coinvolge non solo la resistenza e la funzionalità dei sistemi e dei componenti, ma anche il “lay-out” che difficilmente può essere cambiato.

Un aspetto va comunque tenuto presente: molto spesso sono sufficienti piccoli interventi per aumentare di molto il livello di protezione sismica. Il concetto base adottato dagli americani per la revisione dei vecchi impianti nucleari (programma SEP: Systematic Evaluation Program [16]) è quello di dare un giudizio globale di adeguatezza senza imporre la conformità in dettaglio a tutti i criteri di progettazione validi per i nuovi impianti, fermandosi quindi all’idea che sia assicurato in sostanza un certo livello di sicurezza. Per esempio, i criteri attuali per la componentistica nucleare si sforzano di accertare che gli elementi strutturali importanti restino elastici o quasi elastici in modo da assicurare la loro funzionalità. Lo scopo di tale criterio è importante ed è mantenuto valido, tuttavia esso non implica necessariamente un’assenza totale di deformazioni plastiche. Certe strutture, tubazioni e componenti metallici possono subire qualche danno purché l’intero sistema possa svolgere la sua funzione. Il processo di revisione, inoltre, riconosce e cerca di tenere in conto le capacità intrinseche nelle strutture, spesso non quantificabili, di resistere a forze sismiche ed anche il conservativismo, anch’esso non ben quantificabile, associato ai metodi attuali di progettazione e valutazione. Le tecniche di valutazione sono talvolta superconservative per il fatto, ad esempio, che certi meccanismi di dissipazione di energia non sono del tutto considerati. Lo smorzamento, usato nelle analisi dinamiche, nel campo lineare potrebbe, nella revisione di vecchi impianti, essere meno prudente e più realistico. Quello citato e molti altri tipi di conservativismi, sul carico sismico, sulla combinazione dei

carichi, ecc., possono essere ridotti anche tenendo conto della minor vita residua di un vecchio impianto e quindi del minor rischio.

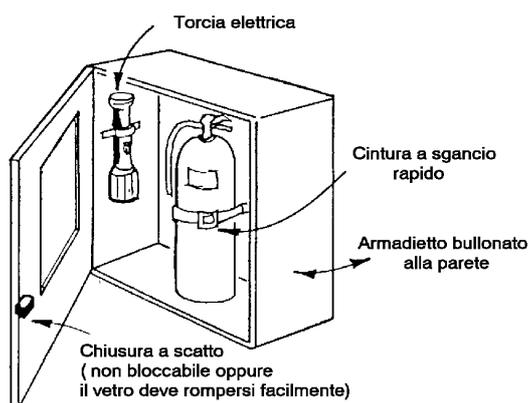
Data la complessità delle analisi e la mancanza di una normativa di riferimento spesso è conveniente rivolgersi a metodi approssimati, ma di sicuro effetto che comportano un miglioramento del livello di sicurezza degli impianti con limitato impegno economico. Tali metodi [17], nati per la revisione delle vecchie centrali nucleari, consistono in analisi strutturali dinamiche molto semplificate ed ispezioni, "walkdown", eseguite da un gruppo di esperti in differenti aree (meccanica, elettrica, strutturalistica; analisti di sistemi ecc.), che riescono ad identificare gli elementi critici ed i provvedimenti di miglioramento in base alla loro esperienza.

La sequenza delle azioni, in genere, è la seguente:

- Analisi dei disegni e dei documenti di progetto. Questa attività, molto spesso trova delle difficoltà in quanto generalmente la documentazione è introvabile e diventa quindi necessario ricostruire le caratteristiche ed il lay-out dei sistemi mediante ispezione.
- Analisi dinamiche semplificate per determinare il carico sismico dei componenti e lo spostamento differenziale che essi possono tollerare.
- Indagini mediante ispezione, "walkdown surveys", per identificare i sistemi critici, strutture e componenti, per identificare i provvedimenti di miglioramento.

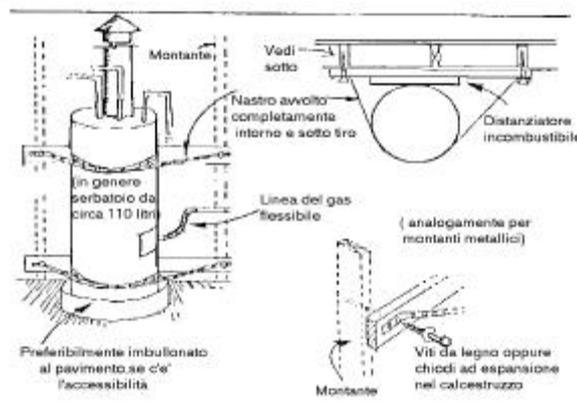
Anche se tale lavoro può essere lungo e faticoso, esso ha il vantaggio di permettere quasi subito l'identificazione di provvedimenti significativi ed efficaci. Due esempi di provvedimenti a basso costo che si possono prendere subito sono mostrati nelle figure 11 e 12 prese da un rapporto[4] preparato negli Stati Uniti per un progetto di riduzione del rischio in California. Nelle figure sono anche indicati i costi degli interventi necessari a vincolare una bombola antincendio e una caldaia.

Tali tipi di azione sono stati effettuati praticamente in un ospedale, come descritto nel capitolo seguente.



COSTO APPROSSIMATO: 20.000 lire

Fig. 11 Intervento su un estintore



COSTO APPROSSIMATO: 100.000-200.000 lire

Fig. 12 Intervento su una caldaia

## 6. Esperienze sulla revisione di ospedali

Un ospedale deve sopravvivere ad un evento sismico e, nello stesso tempo, deve essere in grado di fornire il massimo delle prestazioni proprio durante la crisi sismica. In tali condizioni spesso il numero dei feriti in arrivo supera la normale capacità di ammissione e la situazione di disastro deve essere valutata e gestita al più presto ad alto livello. Dopo il sisma le apparecchiature importanti per la funzionalità devono essere ancora funzionanti e componenti pericolosi (che possono aggravare le conseguenze del terremoto come innescatori di incendio, esplosioni e allagamenti) devono restare integri.

Perché si possa soddisfare il requisito suddetto, non solo la struttura civile portante, ma anche gli elementi non portanti devono rimanere integri o almeno non devono essi stessi essere causa della rottura o malfunzionamento delle apparecchiature importanti (per esempio una parete divisoria che crolla sopra un apparecchio). Deve essere quindi rivolta l'attenzione anche agli elementi non strutturali

Purtroppo l'esperienza dei terremoti passati ci insegna che molti complessi ospedalieri sono costruiti senza alcun criterio antisismico. Dopo il disastroso terremoto di Kobe, Great Hanshin-Awaji del 17-1-1995, i rapporti erano veramente allarmanti. Si denunciava la mancanza di letti a sufficienza, di medici e medicine. Subito sono venute meno la corrente elettrica, il gas e l'acqua. Spesso mancavano i serbatoi di acqua di

emergenza cosicché l'acqua insieme con i medicinali dovevano arrivare da fuori in continuità. Molto spesso i danni alle strutture non erano gravi, ma davanti agli ingressi era scritto che alcune apparecchiature erano fuori uso e quindi in pratica molti reparti erano inutilizzabili.

L'inagibilità iniziale era dovuta spesso al ribaltamento dei mobili, alla durata limitata dell'energia elettrica di emergenza legata alle batterie, alla indisponibilità del diesel di emergenza, ma spesso anche alla non accessibilità dell'ospedale per la situazione difficile del post terremoto in una città densamente abitata e con un traffico caotico.

Interessante è stato un ospedale, il Kobe Central Citizen's Hospital, che si trova in un'area con ampi spazi per la viabilità, che è stato progettato sismicamente e che, pur essendo in un'area con importanti fenomeni di liquefazioni e di assestamenti del terreno (fig. 13), ha continuato a lavorare avendo subito pochissimi danni.

Il livello del moto vibratorio nella zona di Kobe è stato altissimo, da 0.3 a 0.8 g, come dimostrato dagli spostamenti differenziali registrati nell'ospedale stesso; nella fig.14 è mostrato lo spostamento rispetto alla base di un componente massiccio. La situazione degli ospedali in Italia negli ultimi terremoti, come risulta da un'indagine effettuata per conto della comunità europea[19] e dalle risultanze della crisi sismica dell'Umbria e delle Marche del settembre 1997[20], è anch'essa drammatica.



Fig. 13 Assestamento del terreno a Kobe (Central Citizen Hospital)



Fig. 14 Spostamento di un componente massiccio sul blocco di base nell'ospedale a Kobe

Gran parte degli ospedali è stato evacuato successivamente alla seconda scossa, quella del 26 settembre alle 11 di mattina, sia per perdite di funzionalità, che si sono verificate in località colpite in maniera non particolarmente severa, sia per il panico generatosi nei pazienti e nel personale. Va notato che quasi tutti gli ospedali nelle aree epicentrali, tra i 12 che sono stati visitati per le indagini di agibilità, hanno subito danni non strutturali e/o impiantistici, che hanno compromesso in qualche modo la funzionalità immediata, per intensità non molto elevate che nella zona colpita hanno periodo di ritorno di qualche decina di anni.

In seguito sono riportati alcuni criteri di miglioramento degli impianti di ospedali, sulla base di un'attività di revisione effettuata sull'ospedale S. Anna di Castelnovo ne'Monti. Questa è stata una attività svolta dall'ENEA-DISP, ora ANPA, nell'ambito di una collaborazione con la Regione Emilia Romagna [1,2,3]. Si tratta di un vecchio complesso situato nell'appennino Tosco-Emiliano in zona sismica. Sviluppatisi in fasi successive a partire dal 1860 fino al 1960, è costituito da blocchi adiacenti, edificati con differenti architetture e diversi materiali.

In generale non è possibile effettuare un adeguamento sismico su di un vecchio ospedale, per le seguenti ragioni:

1. Non esiste una normativa in proposito cui riferirsi.
2. Spesso parte della struttura civile subisce un adeguamento; per il resto essa è solo "migliorata".
- 3 Non si ha alcuna informazione sulla fragilità o resistenza a sisma di apparecchiature di un ospedale.

Si deve parlare quindi, anche per le apparecchiature, di miglioramento.

Come conseguenza di quanto detto sopra, non è possibile a rigore parlare di un sisma di progetto o di adeguamento. Ciononostante è necessario definire un sisma di riferimento e quindi dei livelli di accelerazione e di spostamenti differenziali che costituiscono dei valori di riferimento per tutte le azioni di miglioramento.

In mancanza di specifici studi di pericolosità sismica, conviene far riferimento al massimo terremoto storico

risentito al sito. Nel caso in esame è stato deciso di prendere in considerazione un terremoto che ha già scosso il paese, cioè il terremoto della Garfagnana del 7 settembre del 1920, il più catastrofico degli ultimi anni e che si è sentito a Castelnuovo ne'Monti come un VII-VIII grado Mercalli. Si sono assegnati dei valori di riferimento di 0.12 g come accelerazione e 3 cm come spostamento massimo del terreno che sono compatibili con un terremoto della citata intensità sul sito dove sorge l'ospedale.

Una difficoltà che si incontra nell'indagine è che in un vecchio ospedale la concezione della disposizione dei locali necessari per apportare cure ai pazienti (per es. rianimazione, sala parto, sala operatoria, ecc.) non è stata sviluppata tenendo presente il problema della funzionalità dopo-sisma dei sistemi che le servono. C'è sempre infatti una distribuzione di tali locali molto dispersa con linee elettriche, idrauliche e medicali lunghe che potrebbero altrimenti essere concentrate e controllate.

Non avendo una normativa o delle guide, si opera in base a:

- giudizio professionale
- esperienza ricavata dalle indagini post-terremoto,
- analogie con quello che si fa in altri campi (come il nucleare),

Le azioni sono del tipo seguente:

- vincolare le apparecchiature che possono cadere o spostarle a livello del pavimento.
- spostare le apparecchiature, che non si possono vincolare, in zone dove cadendo o spostandosi non possono creare danni,
- vincolare strutture massicce in modo che i loro collegamenti (linee elettriche e tubazioni) non subiscano spostamenti differenziali notevoli,
- vincolare le linee elettriche e tubazioni nelle zone che, presumibilmente, non subiranno spostamenti differenziali e viceversa svincolarle in quelle zone o fornirle di supporti scorrevoli.
- spostare le linee dalle zone di maggiore spostamento differenziale o di possibili cedimenti
- duplicare le apparecchiature e le linee elettriche ed idrauliche essenziali nel senso di realizzare una ridondanza mediante apparecchiature di scorta o nuove linee con caratteristiche migliori di quelle esistenti (gas medicali, acqua, energia elettrica per le apparecchiature vitali).

Tutto quanto detto presuppone che le strutture civili restino integre non solo per la parte portante ma anche per gli altri elementi che con la loro rottura possono procurare danno ai componenti. In genere una buona pratica è quella di rinforzare le pareti divisorie o sostituirle con pareti in calcestruzzo armato cercando di realizzare strutture scatolate.

Tutte le definizioni degli interventi devono essere precedute da indagini in sito aventi lo scopo di rilevare lo stato delle apparecchiature ed individuare sul posto situazioni non adeguate ed eventuali correzioni.

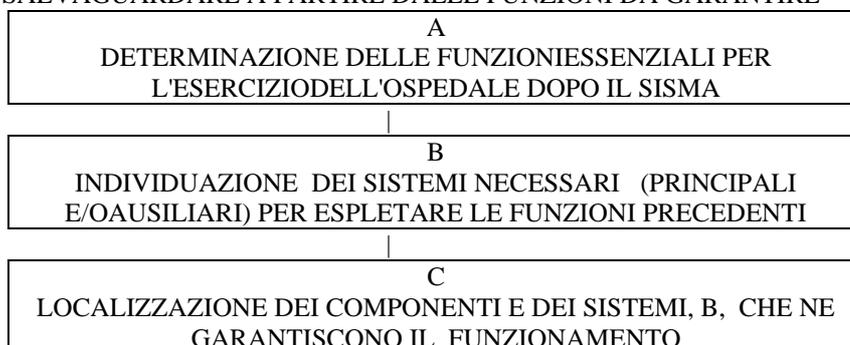
Sono necessarie più visite alternate a periodi di indagini a tavolino ed i tecnici coinvolti devono coprire il campo meccanico, elettrico e civile in collaborazione con un esperto (medico) necessario per l'individuazione delle esigenze primarie funzionali delle apparecchiature.

La definizione delle funzioni essenziali da salvaguardare durante il sisma deve essere effettuata con riferimento ad uno scenario e ad alcune ipotesi di lavoro che, nel caso dell'ospedale di S. Anna, sono di seguito brevemente descritti:

- Il sisma atteso è della stessa pericolosità di quello della Garfagnana del 7 settembre del 1920, cioè intorno al VII-VIII grado Mercalli.
- Nessuna parte dell'ospedale crolla durante tale sisma. In caso contrario non si può procedere ad assicurare la funzionalità dei sistemi identificati come necessari.
- Durante il sisma vengono a mancare le alimentazioni elettrica ed idrica attraverso le normali reti di distribuzione. Non è possibile infatti fare sicuro affidamento sulla loro disponibilità.
- Il sistema antincendio è funzionante dopo il sisma e pronto ad intervenire.

Nello scenario descritto lo schema logico, allo scopo di individuare le funzioni essenziali e quindi i provvedimenti migliorativi, e' riportato nel quadro seguente:

**SCHEMA LOGICO  
PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE PARTI E COMPONENTI  
DA SALVAGUARDARE A PARTIRE DALLE FUNZIONI DA GARANTIRE**



Nel punto A vengono individuate le funzioni che sono richieste subito dopo l'evento tenendo conto del flusso di infortunati relativi al bacino di utenza dell'ospedale, che e' stato stimato non superiore a 70000 persone.

Nel punto B vengono definiti i sistemi necessari ad espletare le suddette funzioni e nel punto successivo vengono localizzati i componenti essenziali e quindi definiti i provvedimenti migliorativi

I punti A, B e C corrispondono a sequenze logiche, ma anche a fasi di lavoro che comportano sia l'analisi a tavolino dei disegni sia le indagini in sito per l'individuazione degli impianti e il colloquio con gli operatori che conoscono la funzione e l'importanza dei vari sistemi.

I soggetti interessati alle varie fasi sono stati:

- A: esperti, direttore sanitario USL/Ospedale
- B: esperti, ufficio tecnico ospedale
- C: esperti, ufficio tecnico ospedale, progettisti strutturali

Con esperti si è indicato un team di ingegneri formato da uno strutturista, un meccanico ed un elettrico esperti in progettazione sismica.

La lista delle funzioni essenziali individuate, nel caso in esame, è riportata di seguito in lettere maiuscole. Per ogni funzione sono indicati anche, per migliore comprensione, i reparti che la espletano, i tempi entro cui deve essere garantita ed i sistemi necessari

PRESTAZIONI I (tempi, reparti)	Sistemi
1) PRESTAZIONI ESSENZIALI AI DEGENTI (Da garantire con continuità) Reparti: Rianimazione, Sala operatoria, Radiologia, Laborat. analisi (indifferibili), Dialisi	riscaldamento (elett.) gas medicali alimentazione elettrica illuminazione impianto idrico, macchine essenziali
2) MANTENERE COLLEGAMENTO INTERNO E CON ESTERNO (Da garantire con continuità) Reparto centralino, ponte radio	Linee telefoniche, ponte radio (protezione civile), alimentazione elettrica, impianto citofonico interno
3) ACCOGLIERE EVENTUALI TRAUMATIZZATI (Da esplicitare entro i - 2 h) Reparto : Pronto Soccorso	Accessibilità, personale addestrato, alimentazione elettrica, sistemi di comunicazione. (Sala operatoria., reparti)
4) TRASFERIRE I 3) a/da REPARTI (Da esplicitare entro 2-12 ore) Reparti: sala operatoria. Rianimazione. Degenza	collegamenti e comunicazione, alcuni ben identificati ascensori, alimentazione elettrica, corridoi-scale, collegamento citofonico interno
5) PRESTAZIONI PER LA NORMALE DEGENZA (Da garantire entro 12 h) Reparti: tutti	ossigeno reparti degenza, laboratori analisi, impianto idrico impianto riscaldamento, macchine assistenza, cucine

Dallo schema logico descritto deriva l'individuazione dei sistemi essenziali, che nell'esempio dell'ospedale S. Anna sono stati i seguenti:

- 1) VIE DI ACCESSO  
Viale ingresso, pronto soccorso, corridoi, scale
- 2) LINEE COMUNICAZIONE ESTERNE  
Telefono, Centralino, ponte radio,
- 3) LINEE COMUNICAZIONE INTERNE CITOFONI
- 4) ILLUMINAZIONE
- 5) ASCENSORI
- 6) SISTEMI MEDICALI  
Sala operatoria, Pronto soccorso, Nido/ incubatrici, Lab. analisi essenziali,  
Rianimazione, Emodialisi, Diagnostica
- 7) GAS MEDICALI (NO<sub>2</sub>, Aria compressa, O<sub>2</sub>, vuoto)
- 8) IMPIANTO IDRICO
- 9) IMPIANTO RISCALDAMENTO
- 10) ALIMENT. ELETTRICA
- 11) IMPIANTO ANTINCENDIO
- 12) PIANO DI EMERGENZA

Dall'insieme degli studi e delle indagini è scaturito un nutrito elenco dettagliato di provvedimenti [1], che non richiedono né tempi lunghi, né grandi spese, ma che, nelle more di una normativa specifica, portano sicuramente ad miglioramento del grado di sicurezza degli impianti. A scopo esemplificativo si elencano alcuni dei provvedimenti suggeriti:

- Duplicare il sistema dei gas medicali, costituito dalle tubazioni (fig.13), con un sistema alternativo, per esempio le bombole dedicate ad alcuni reparti essenziali come la sala operatoria, pronto soccorso ecc.
- In genere il criterio guida per le linee di tubazioni è di renderle flessibili in corrispondenza dei giunti in modo da permettere spostamenti differenziali di almeno 3 cm.

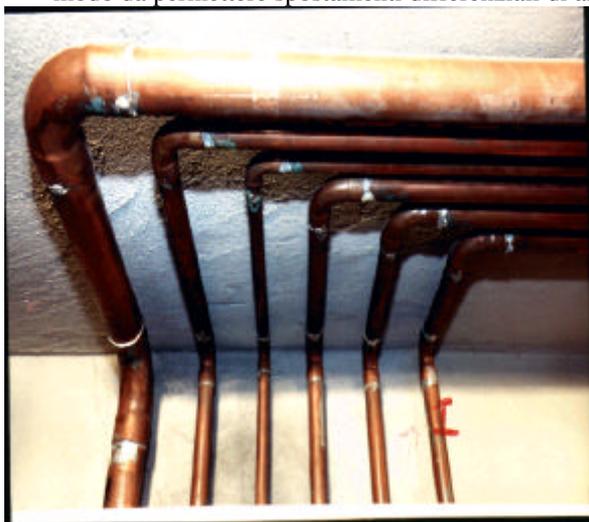


Fig. 15 Linee dei gas medicali, dettaglio



Fig. 16 Quadri elettrici

Tale valore è stato stimato con un calcolo di prima approssimazione tenendo conto che il massimo spostamento assoluto del terreno (valore di riferimento) durante il sisma è dello stesso ordine di grandezza.



Fig. 17 Laboratorio di analisi



Fig. 18 Apparecchiature nella sala operatoria

- Fissare, in modo che non si ribaltino, tutte le apparecchiature essenziali come per esempio gli armadi e i quadri elettrici (fig. 16). Anche in questo caso si è deciso di vincolare solo quegli armadi con un rapporto altezza/base maggiore di tre in seguito ad una analisi semplificata. Infatti la massima accelerazione del terreno è stata assunta uguale a 0.12 g e calcolando un'amplificazione massima del moto negli edifici intorno a  $2.5 \div 3$  si ottiene un'accelerazione massima di circa .3 g che è in grado di far ribaltare oggetti, con distribuzione geometrica e di massa regolare, aventi il rapporto suddetto.
- Vincolare le apparecchiature delle analisi indifferibili, fig.17 oppure quelle della sala operatoria, fig.18. Le apparecchiature disposte su carrelli, caso della sala operatoria (RX, anestesia, monitors per endoscopie), che possono ribaltarsi devono essere duplicate oppure devono essere modificate con supporti più larghi.

### **Conclusioni**

Nelle more di una normativa antisismica specifica per gli impianti, l'applicazione di criteri consolidati nel settore nucleare, adattati al diverso grado di rischio, per la prevenzione delle conseguenze post-terremoto risulta di particolare efficacia.

È stato posto l'accento sulla necessità di ancorare tutti i componenti importanti e sulla cura nella progettazione degli ancoraggi e dei collegamenti elettrici e meccanici (tubazioni) in modo da permettere gli spostamenti differenziali specie nelle zone dei giunti strutturali. Sono stati riprodotti, per una esemplificazione, degli schemi, consigliati da linee guida esistenti nel campo nucleare, per il progetto di alcuni dettagli. Sono state date alcune indicazioni, per componenti attivi, riguardanti in modo particolare la loro qualificazione. Per quanto riguarda il miglioramento di vecchi impianti come quelli ospedalieri, è stato suggerito un approccio molto pratico. Esso richiede un lavoro di gruppo che coinvolga specialisti nei campi dell'ingegneria civile, meccanica, elettrica, oltre che la collaborazione dei tecnici specialisti in grado di conoscere le funzioni essenziali che debbono essere garantite in caso di terremoto. Il lavoro di revisione può essere lungo. Tuttavia molte carenze, soprattutto quelle più gravi, possono essere individuate sin dai primi sopralluoghi. È importante pertanto procedere progressivamente, cercando di introdurre quanto prima quei provvedimenti di natura pratica, come quelli presentati in questo articolo, che sono in grado di produrre in tempi relativamente brevi miglioramenti significativi sotto il profilo della protezione dal terremoto

### **Bibliografia**

- [1] "Miglioramento della resistenza al sisma degli impianti, Ospedale di Castelnuovo ne'Monti", Collaborazione fra la Regione Emilia-Romagna ed ENEA sull'isolamento sismico, Ottobre 1991
- [2] T.Sanò, G.Di Pasquale, A.Madonna, A.Pugliese, F.Tarisciotti, " Il miglioramento della resistenza a sisma degli impianti ospedalieri", ENEA-DISP Sicurezza e Protezione, N.28-29- Gennaio-Agosto 1992.
- [3] T. Sanò, G.Di Pasquale, G.Manieri, R.Sacchetti, "Criteria of seismic strengthening of equipment of hospital in Italy" Proc. of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, A.A.Balkema, 19-24 July 1992, Madrid, Spain
- [4] "Reducing The Risks of Nonstructural Earthquake Damage: A Pratical Guide", BAAREPP (Bay Area Regional Earthquake Preparedness Project) 85-10, October 1985

- [5] "Proceedings of Seminar on seismic design, retrofit, and performance of nonstructural components", ATC 29-1 Applied Technology Council, January 22-23, 1998, San Francisco, Ca.
- [6] "Proceedings Seismic Risk and Heavy Industrial Facilities Conference" Lawrence Livermore National Laboratory, San Francisco, May 11, 1993
- [7] "Eurocode 8: Earthquake resistant design of structures" part 1.1 : General rules and rules for buildings- Seismic actions and general requirements for structures", CEN/TC250/SC8/N 83
- [8] "Linee guida per progettazione, esecuzione e collaudo di strutture isolate dal sisma" Consiglio Superiore del LL.PP., Ingegneria Sismica, Anno XIV-N. 1- gennaio-aprile 1997.
- [9] A.Castellani, A.Castoldi, E.Faccioli, G.Grandori, V.Petrini, R.Ramasco, " Calcolo di strutture in zona sismica", Tamburrini Editore Milano
- [10] "Structural analysis and Design of Nuclear Plant Facilities", ASCE-Manuals and Reports on Engineering Practice-No. 58, 1980.
- [11] Regulatory Guide 1.122,"Development of floor response spectra for seismic design of floor-supported equipment or components", U.S.N.R.C.
- [12] "Seismic Qualification of Class I Electric Equipment for Nuclear Power Generating Stations", IEEE Std. 344.1974
- [13] "Seismic qualification of categori I Instrumentation and electrical equipment", U.S. regulatory guide 1.100
- [14] "Seismic qualification of equipment in operating Nuclear Power Plants", and Attachment, Unresolved Safety Issue A-46, U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG-1030.
- [15] "Difendiamoci dai terremoti; Nuove tecnologie", Convegno di Perugia, 29 novembre 1997, GLIS-ANIDIS
- [16] H.L.Levin, "NRC Systematic Evaluation Program. Seismic review", U.S. N.R.C. Washington, D.C. 20555.
- [17] "Earthquake Resistant Design of Nuclear Facilities with Limited Radioactive Inventory" , International Atomic Energy Agency, IAEA-TECDOC-348. Vienna 1985
- [18] International Post-SmiRT conference seminar on seismic isolation, passive energy dissipation and active control of seismic vibrations of structures, Taormina, Italy, August 25-27, 1997
- [19] CEC-Environment Program, Contract No EV5V-CT93-0297: Seismic Risk Assessment and Mitigation of Hospital Facility networks, Task 1: Typical Damage Evaluation Based on Past Earthquakes, Irpinia (1980) and Friuli (1976) Earthquakes, by T.Sanò, G. Di Pasquale, G. Orsini.
- [20] G. Di Pasquale, C.Nuti, G.Orsini, T.Sanò,"Observed Behaviour of Italian Hospitals During Severe Earthquakes" ATC-29-1 Seminar on Seismic Design Retrofit and Performance of Nonstructural Components, S.Francisco, January 22-23, 1998.