

# **IL PROGETTO DEL NUOVO OSPEDALE DI FROSINONE: UNA STRUTTURA ISOLATA ALLA BASE PER RESTARE FUNZIONALE DOPO TERREMOTI VIOLENTI. OBIETTIVI E CRITERI PROGETTUALI**

Camillo Nuti<sup>1</sup>

*1. DSIC, Università di Roma3, Roma, c.nuti@uniroma3.it*

## **1 Premessa**

A seguito dei risultati degli studi svolti nell'ambito del progetto di ricerca HOPE finanziato dalla Comunità Europea [HOPE 1993], nel 1997, il Ministero della Sanità si dimostrò interessato alla realizzazione di un progetto pilota per la realizzazione di un Ospedale che restasse funzionale dopo un evento sismico intenso. Il problema era verificare l'effettiva fattibilità della cosa e l'impatto che tale ambizioso obiettivo avrebbe avuto in termini di costi e di scelte tecnico funzionali. L'esperienza dei passati terremoti Italiani ed Europei aveva d'altronde mostrato l'estrema vulnerabilità del patrimonio ospedaliero e la necessità di indicare una soluzione concreta che non restasse un esercizio accademico. Si decise quindi di scegliere, d'intesa con gli enti locali, un progetto in corso che presentasse caratteristiche tali da essere un possibile test di riferimento. La Regione Lazio propose la scelta del Nuovo Ospedale di Frosinone, del quale era sino ad allora stato preparato un progetto preliminare. Si trattava di una struttura di caratteristiche convenzionali, che non teneva conto in modo particolare del problema sismico che sarebbe stato risolto come di consueto in sede di verifica delle strutture, in base alla normativa sismica corrente.

Nel presente lavoro si illustrano gli obiettivi, le scelte progettuali adottati e le implicazioni progettuali che hanno coinvolto non solo gli aspetti strutturali ma anche quelli distributivi e funzionali. Si ritiene così di aver raggiunto con soddisfazione gli obiettivi del progetto pilota.

## **2 Caratteristiche dell'ospedale e storia del progetto**

Il Nuovo Ospedale di Frosinone può classificarsi di medie dimensioni: con 400 posti letto. Il progetto originale era una struttura a corte di 8 piani, a telaio in cemento armato, piuttosto irregolare, per una superficie coperta complessiva di 35000m<sup>2</sup>. Frosinone è una zona di media intensità sismica, con coefficiente di sismicità  $S=9$ , le cui caratteristiche di pericolosità sono illustrate in Fig. 1.

Dopo una analisi del progetto preliminare predisposto dalla ASL, si illustrò alla Regione Lazio quali potevano essere gli obiettivi perseguibili con le due diverse scelte alternative che sembravano possibili: la prima soluzione poteva consistere in un intervento che garantisse, mantenendo essenzialmente i caratteri del progetto ormai delineato, un livello di protezione delle componenti non strutturali: sia civili (tamponamenti e finiture in generale) che impiantistiche, superiore al normale, prevedendo eventualmente una riorganizzazione funzionale che consentisse di minimizzare il rischio in caso di un evento sismico intenso; la seconda soluzione consisteva in una modifica sostanziale del progetto, con l'introduzione dell'isolamento alla base, in modo da raggiungere livelli di protezione estremamente elevati, tali da garantire la funzionalità dopo eventi

sismici intensi anche molto rari. Il pregio della prima soluzione consisteva nel poter definire sin da subito l'oggetto da realizzare, sfruttando le attività sino ad allora svolte, intervenendo essenzialmente solo su componenti che dovevano ancora essere definite in sede di progetto definitivo ed esecutivo. Si sarebbe dovuto fissare un budget di spesa aggiuntiva rispetto al progetto preliminare ed operare a livello di extracosti per la protezione nell'ambito delle somme disponibili. Il limite era la difficile quantizzazione a priori del livello di protezione sismica perseguibile, sebbene un incremento rispetto alla struttura convenzionale era sicuro. Certamente si poteva escludere di poter sopportare terremoti intensi garantendo la funzionalità, si poteva tuttavia prevedere di poter superare terremoti di intensità media, cioè che si sarebbero potuti presentare con una certa frequenza nella vita utile della struttura senza danni non strutturali, mantenendo in funzione l'ospedale. Il caso sarebbe stato in futuro un utile riferimento per migliorare le prestazioni di ospedali in costruzione o comunque in fase avanzata di progettazione, ma anche per intervenire su ospedali esistenti senza modificare in modo apprezzabile struttura e fondazioni, in analogia a quanto previsto per interventi sull'esistente [Ferrini, Nuti, Vanzi, 2000].

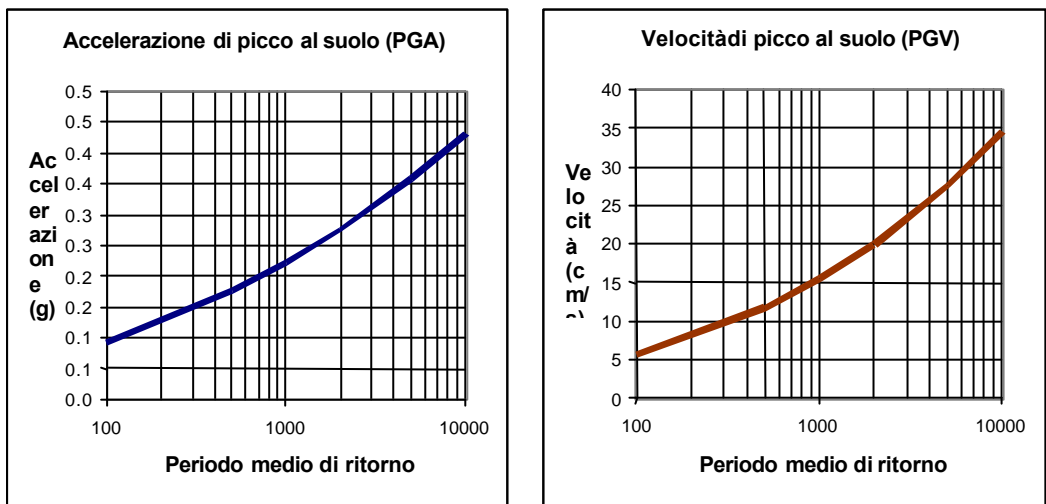


Fig. 1 Pericolosità sismica di Frosinone [SSN 1998] (periodo in anni)

La seconda soluzione consisteva nel rifacimento completo del progetto, trasformando la struttura convenzionale in una struttura con isolamento alla base. Naturalmente questa scelta implicava la messa in discussione non solo delle scelte strutturali, ma anche della configurazione e quindi del sistema funzionale complessivo, comportando quindi il totale rifacimento del progetto preliminare. L'aspetto positivo di questa scelta era che, assunto come non modificabile il budget complessivo, si era infatti sicuri che il sistema di isolamento poteva al più far variare i costi di percentuali irrilevanti rispetto alla struttura convenzionale, sarebbe stato possibile garantire la completa funzionalità dell'ospedale anche a seguito di eventi di notevole intensità. Il limite di questa scelta era rappresentato dall'inevitabile allungamento dei tempi progettuali per la ripetizione del progetto preliminare. Si constatò che l'intera operazione di progettazione e realizzazione, mediante appalto, avrebbe avuto solo un modesto incremento temporale. In termini di costo benefici il risultato era evidentemente tutto a favore della seconda scelta, che ha quindi prevalso.

Sempre nella prima fase si è verificato che non vi fossero impedimenti all'adozione della tecnica dell'isolamento conseguenti a problemi legati alla risposta locale del terreno. Le analisi di carattere geologico, geofisico e geotecnico hanno confermato la possibile adozione dell'isolamento

alla base. Si è infatti esclusa la presenza di strati di terreno superficiale particolarmente soffici, tali da spostare il contenuto in frequenza del terremoto di progetto verso periodi lunghi [Pugliese, Romeo, Sandò, 1999].

## 2.1 Livelli di performance prescelti per il progetto

Il primo obiettivo dello studio pilota è stato la definizione dei livelli di performance da garantire con la progettazione. A tale scopo si è ritenuto opportuno fare riferimento alla formulazione presente nell'ATC40 [1996], nel quale le prestazioni dell'edificio sono ottenute come intersezione di una prestazione strutturale con una non strutturale. I livelli di prestazione strutturale e non strutturale individuati dall'ATC40, prevedono ciascuno 5 livelli, dando luogo a 25 intersezioni, delle quali solo alcune sono di interesse pratico, e sono riportati in appendice.

È possibile definire i livelli di sicurezza, cioè la probabilità di superamento dovuta all'azione sismica, associato a ciascun livello prestazionale, caratterizzando così in modo molto efficace l'obiettivo della progettazione. Verificando che i livelli di performance dell'edificio siano garantiti per adeguati livelli di intensità sismica si raggiunge l'obiettivo progettuale desiderato.

Nel caso in questione sono stati considerati due livelli di performance, definendo le relative probabilità di superamento:

- garanzia della funzionalità (1B) per una azione con 10% di probabilità di essere superata in 50 anni, corrispondente ad un periodo medio di ritorno di 475 anni;
- garanzia di non collasso (3C) per una azione con il 2% di probabilità di non essere superata in 50 anni, corrispondente ad un periodo medio di ritorno di 2500 anni.

I livelli sopra riportati possono essere assunti come livelli di riferimento per gli edifici ospedalieri.

Il primo livello (Stato Limite di Funzionalità) intende garantire che l'ospedale possa essenzialmente continuare ad espletare le sue funzioni, pur in mancanza di servizi ed alimentazioni esterne, per almeno 4 giorni dopo un evento di notevole intensità.

Il secondo livello (Stato Limite Ultimo), intende garantire il non collasso della struttura, pur con elevato danneggiamento per il terremoto di verifica. In questo secondo caso l'ospedale andrebbe poi parzialmente o completamente evacuato.

Naturalmente la struttura deve soddisfare le prescrizioni della Normativa Italiana vigente.

Le azioni considerate nel progetto sono di gran lunga più severe di quelle definite dalla Norma per edifici di carattere corrente. Per questi ultimi si può ritenere che il primo livello di prestazione sia al più verificato per azioni sismiche con probabilità di superamento di circa 0.50 in 50 anni, mentre il non collasso è verificato per una azione con probabilità di superamento di 0.10 in 50 anni. Pur con gli incrementi di azione definiti per gli ospedali: il 40%, le intensità di verifica sono comunque meno severe della scelta adottata nel progetto pilota.

L'incremento di costo risulta modesto, se non del tutto trascurabile, non dovendo far ricorso ad accorgimenti speciali, una volta stabilito di adottare la tecnica dell'isolamento alla base.

Tabella 1: Livelli di performance richiesti per gli ospedali da due regolamenti americani: Codice Californiano e Regolamento del Veteran Hospital Administration

<i>PROBABILITÀ DI ECCEDEZZA</i>	<i>STATO DELLA CALIFORNIA</i>	<i>VETERAN ADMINISTRATION</i>
10% in 50 anni	1B	
2% in 50 anni	5E	1A

La scelta dei livelli di prestazione fatta è in linea con quanto richiesto per edifici ospedalieri nello Stato della California. In Tabella 1 si vede come sempre negli USA la Veteran Administration imponga livelli di protezione ancor più severi richiedendo la funzionalità assoluta per il terremoto più severo considerato in questo progetto. Con tale scelta severa si garantiscono tutti i livelli inferiori. E' da osservare come lo stato della California non imponga mai di garantire la assoluta funzionalità, anche per l'azione sismica cinquecentennale, poiché in pratica è molto difficile poter dare garanzie assolute, preferendo quindi predisporre un piano di emergenza di minimo per far fronte a malfunzionamenti modesti. Come livello superiore là si garantisce solo la stabilità, mentre nel nostro caso si richiede una protezione più elevata. La differenza nelle richieste qui poste è che la sismicità di Frosinone non è elevata come quella Californiana, pertanto risulta economicamente vantaggioso un livello di protezione particolarmente elevato.

Nel caso dell'ospedale di Frosinone, almeno per la parte posta al di sopra del piano di isolamento, la tecnica dell'isolamento consente di fatto di dare una pressoché assoluta garanzia di funzionalità. Per le zone non isolate sembra invece più realistica la previsione di soddisfare il livello 1B, che prevede solo modesti malfunzionamenti non strutturali.

Sempre nella prima fase si è verificato che non vi fossero impedimenti all'adozione della tecnica dell'isolamento conseguenti a problemi legati alla risposta locale del terreno. Le analisi di carattere geologico, geofisico e geotecnico hanno confermato la possibile adozione di tale tecnica.

### **3 Evoluzione della configurazione dell'edificio**

#### **Forma in pianta**

La risposta sismica dell'edificio dipende in modo determinante dalla forma dello stesso. Le forze di inerzia sono come ben noto proporzionali alle masse, la coincidenza del centro delle masse e delle rigidità consente di evitare fenomeni di torsione. In generale si sa che i modelli di calcolo oggi disponibili consentono di valutare in modo relativamente accurato la risposta dinamica di strutture "regolari", mentre la presenza di irregolarità, sia in pianta che in alzata è causa di notevoli incertezze nella valutazione della risposta. Peraltro anche la stessa risposta strutturale diviene problematica in presenza di "irregolarità" quali forti non simmetrie in pianta. Queste infatti sono di frequente la causa del concentrarsi di richieste, in termini di resistenza o di duttilità, concentrate in pochi punti della struttura, anziché quanto più possibile distribuite sulla stessa. L'insieme di questi fattori spinge la progettazione di strutture in zona sismica, per le quali è richiesto un particolare livello di sicurezza, verso l'adozione di configurazioni il più possibile controllabili e comunque tali da escludere la richiesta di prestazioni eccezionali agli elementi strutturali. La pratica degli ultimi anni è stata quindi quella di utilizzare per gli ospedali (ed in genere per le opere strategiche), ed anche per quelli isolati alla base quale quello in questione, forme per quanto possibile compatte.

#### **Altezza di interpiano.**

L'adozione di una altezza notevole da solaio a solaio non è legata in modo diretto ad una richiesta di protezione sismica, in particolare per quanto riguarda le componenti strutturali. Tuttavia in una concezione più ampia di sicurezza, non esclusivamente legata alla esclusione del collasso, ma anche volta a garantire la funzionalità nel dopo sisma, risulta essenziale poter disporre gli impianti in modo ordinato, facilmente accessibile sia per la manutenzione, sia per una facile ispezione, sia per rendere agevole l'operazione di ancoraggio trasversale degli stessi. Per garantire infine valori contenuti della dimensione orizzontale delle aperture da praticare nei cavedi in particolare quelli

dei condotti di aria condizionata, occorre garantirne la possibilità di sviluppo in altezza, fermo restando la superficie totale delle sezioni dei condotti.

### **Scelta della posizione dell'isolamento.**

Un'ulteriore questione di carattere essenziale era la decisione in merito a cosa inserire nell'edificio (o negli edifici isolati) e cosa in eventuali strutture convenzionali (staccate da questo e dotate di opportuni giunti) di opportune caratteristiche strutturali e funzionali. Si decise di definire questo aspetto dopo una nuova stesura del progetto.

Una prima stesura del progetto prevedeva una soluzione nella quale, sopra una piastra interrata, di dimensioni cospicue, si realizzavano cinque edifici isolati, dei quali uno in posizione centrale destinato a collegamenti verticali, mentre i laterali, due su ciascun lato, erano destinati alle funzioni ospedaliere vere e proprie. Le dimensioni della piastra interrata erano in lunghezza pari all'ingombro totale degli stessi edifici ed in larghezza all'incirca il doppio della profondità degli edifici.

Al fine di proteggere tutte le funzioni incluse nella piastra interrata si decise di inserire il meccanismo di isolamento al disotto di quest'ultima. Si trattava quindi di stabilire come separare le strutture isolate. I giunti di separazione devono infatti essere di dimensioni molto consistenti e richiedono una cura particolare dal punto di vista strutturale, architettonico ed impiantistico con conseguenze economiche non del tutto trascurabili.

Si è proceduto alla seconda stesura valutando la possibilità di ridurre il numero dei corpi in elevazione e accettando una forma leggermente meno compatta pur se molto regolare. La soluzione a due soli corpi laterali con al centro l'edificio destinato ai collegamenti (con riduzione conseguente a due soli giunti tra gli edifici) è stata considerata la più valida e pertanto è stata scelta in via definitiva.

I concetti su esposti hanno comportata la riprogettazione dell'edificio, il cui schema finale è riportato in Fig. 2 ed in Fig. 3.

L'ospedale, nella sua configurazione finale, è costituito da tre edifici con isolamento alla base, ciascuno di sette piani fuori terra oltre che di un piano interrato e di un secondo piano interrato ove è realizzato il distacco, con i dispositivi di isolamento, tra l'edificio isolato e la struttura di fondazione poggianti sul terreno. Un edificio convenzionale, interrato, contiene le centrali impiantistiche.

Grazie a questa scelta gli isolatori possono essere facilmente ispezionati ed eventualmente sostituiti. Nel secondo piano interrato avviene anche il passaggio della rete impiantistica dalla centrale impianti ai tre edifici isolati, e per quanto riguarda gli scarichi delle acque reflue dagli edifici isolati al collettore fognario. Questo piano è quindi la sede di tutti i giunti, sia strutturali che funzionali, la sua ispezionabilità, ampiamente garantita nel presente progetto, è quindi essenziale.

Si ritenne opportuno ridefinire l'impostazione progettuale con due indicazioni di riferimento:

- gli edifici dovevano essere di forma compatta ed estremamente rigidi nella parte in elevazione;
- i giunti tra gli edifici, se presenti, dovevano essere di dimensioni tali da consentire il movimento richiesto in fase di sisma senza interferenze tra gli impianti.

La centrale tecnologica è invece esterna all'edificio isolato e posta al piano interrato. Per questa si sono stabiliti criteri di progettazione adeguati con forze di inerzia particolarmente elevate e relativi provvedimenti di ancoraggio per le parti non strutturali. Peraltro le dimensioni limitate dello stesso edificio, in particolare in altezza, garantiscono il fatto che le forze di inerzia da contrastare siano

comunque di valore limitato rendendo il problema facilmente risolvibile sia tecnicamente che economicamente.

## 4 Aspetti funzionali e impiantistici

In parallelo agli aspetti strutturali si sono approfonditi gli aspetti legati alla organizzazione dei diversi servizi cercando di ottimizzarli dal punto di vista funzionale, economico e di sicurezza sismica. Si è per esempio eliminato l'ascensore che in una prima stesura del progetto collegava direttamente la terapia intensiva, posta nel piano interrato alla sala operatoria situata al piano superiore. Esso infatti creava una forte irregolarità strutturale mentre l'effettiva necessità di avere un collegamento così immediato risultava all'atto pratico superflua una volta attentamente considerato l'effettivo tempo di percorrenza richiesto in assenza di tale ascensore.

In questa fase, tra le cose di maggiore importanza, si è deciso di:

- sezionare gli impianti per zone e di rendere ridondanti alcune apparecchiature ritenute essenziali, per aumentare le garanzie di funzionamento in caso di sisma;
- garantire una capacità notevole di autoproduzione di energia elettrica per sopperire alle eventuali mancanze esterne;
- richiedere la garanzia di autosufficienza per almeno 4 giorni, con conseguente dimensionamento dei serbatoi di combustibile e di smaltimento dei rifiuti per tale tempo;
- valutare la possibilità di installare esternamente una cucina da campo e comunque di disporre di aree attrezzabili per le fasi di emergenza.

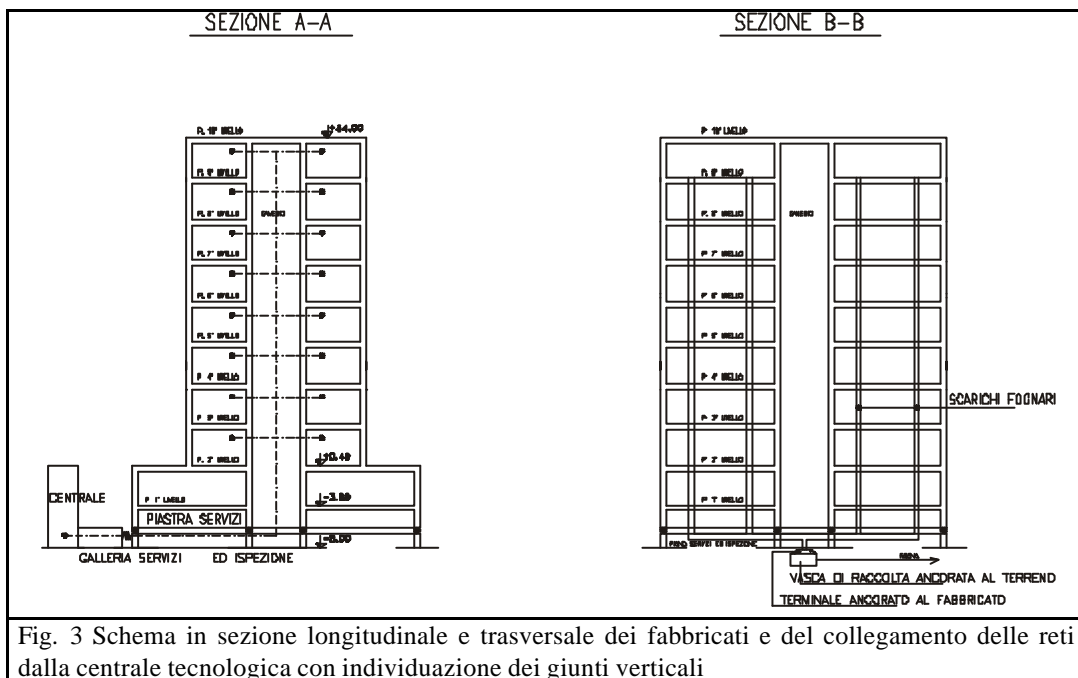
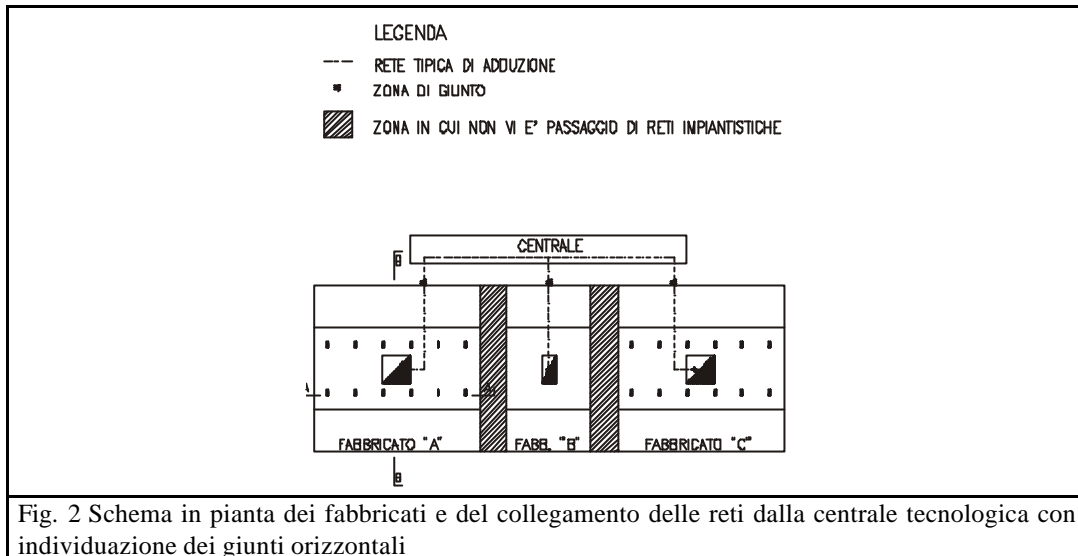
Si possono distinguere due tipi di impianti:

- i percorsi delle acque scure che portano le acque di scarico dagli edifici alle fogne;
- gli impianti che collegano l'edificio delle centrali con i tre edifici dell'ospedale vero e proprio.

Gli scarichi vengono raccolti verticalmente per ciascun edificio, e convogliati in vasche di raccolta ancorate al terreno. L'imbocco verticale è ancorato al fabbricato e nel suo movimento non può fuoriuscire dalla vasca di raccolta, di dimensioni notevoli, garantendo così il mantenimento della funzionalità post sisma. Per i gas e i cavi elettrici sono previsti giunti flessibili tra centrale impiantistica ed i tre condotti dei tre edifici.

I gruppi elettrogeni sono tre, ciascuno di potenza pari al 50% della potenza richiesta per il funzionamento dell'ospedale. In questo modo è garantita anche la possibilità di manutenzione dei gruppi. Il serbatoio di gasolio deve garantire l'autosufficienza per almeno 4 giorni continuativi.

E' interessante rilevare che in questo caso la riserva d'acqua di emergenza è garantita dalla presenza di pozzi le cui pompe di estrazione sono poste sotto generatore di emergenza.



## 5 Dimensionamento degli ancoraggi dei componenti non strutturali

Tutti gli elementi non strutturali devono essere ancorati in modo da sopportare senza danni i livelli di sollecitazione, forze di inerzia e distorsioni, indotte dalla azione sismica. Questi sono di regola calcolati sulla base di un modello di calcolo completo della struttura.

A tale fine si devono calcolare gli spettri di risposta di piano.

Le forze di inerzia da applicare agli elementi non strutturali si deve basare sulle caratteristiche di dinamiche stimate per gli stessi includendo l'eventuale deformabilità degli appoggi.

Sono considerati rigidi i componenti con periodo proprio inferiore a 0.06secondi. Per questi ultimi la forza di inerzia è:

$$F=1.5 \times W \times A_p \times \gamma_i$$

ove  $A_p$  è l'accelerazione massima di piano, che nella struttura convenzionale (centrale tecnica) non deve essere inferiore alla accelerazione di picco del terreno, e nell'edificio isolato non inferiore a quella del piano sopra il sistema di isolamento,  $\gamma_i$  è il fattore di importanza del componente (pari ad 1 o ad 1.5)

Per i componenti flessibili la forza di inerzia è :

$$F=W \times S(T) \times \gamma_i$$

Ove  $S(T)$  è lo spettro di risposta di piano. Lo spettro al 5% di smorzamento è incrementato del 30% per tener conto del ridotto smorzamento dei componenti non strutturali. Si può assumere in alternativa l'espressione (omettendo pertanto il calcolo dello spettro di piano):

$$F=4 \times W \times A_p \times \gamma_i$$

I valori di  $F$  possono risultare piuttosto elevati, soprattutto per edifici convenzionali, ove possono raggiungere anche valori pari a 23 volte il peso. Per edifici isolati, ove  $A_p$  è generalmente inferiore al picco di accelerazione del terreno,  $F$  è in genere compresa tra il 30 ed il 100% del peso. Gli spettri di piano per l'ospedale isolato sono riportati in Fig. 4. Si può rilevare che se gli elementi sono ben irrigiditi, le accelerazioni, e quindi le forze, di verifica sono estremamente modeste.

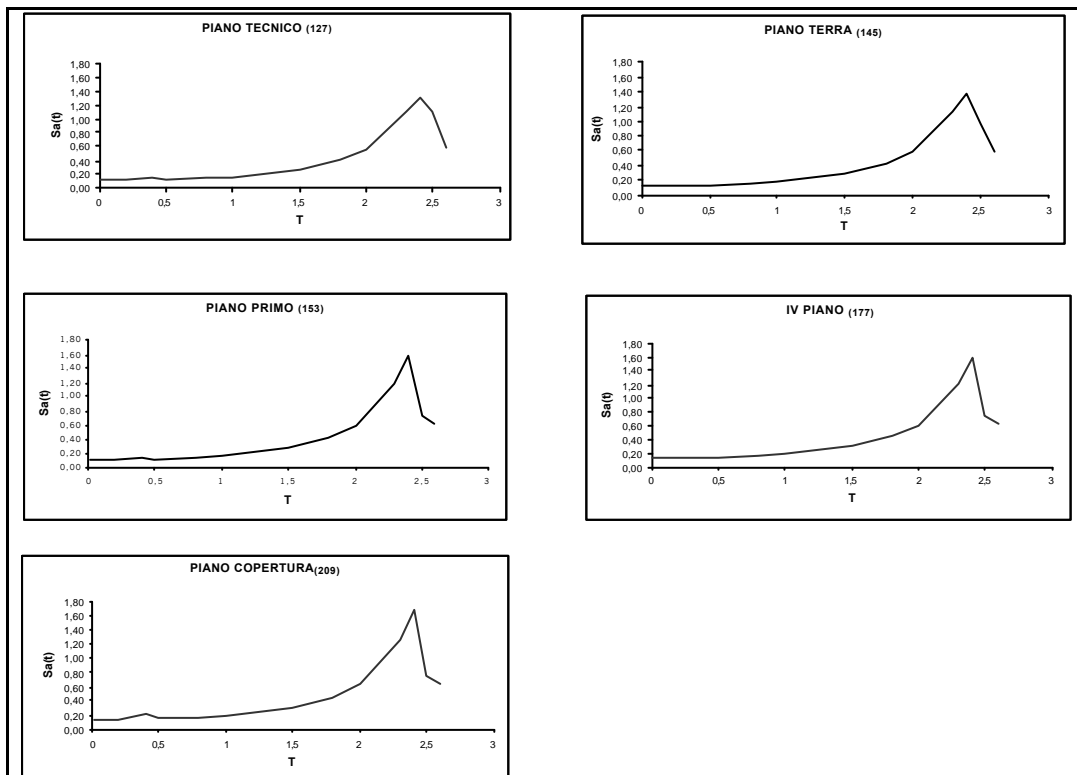


Fig. 4 Spettri di risposta di piano [Nuti et al. 2000]

## 6 Costi del progetto

A fronte di un costo totale di costruzione di circa 61.000.000 di Euro, il costo degli isolatori e dei circa 150 metri di giunti è di circa 780.000 Euro, il 96% del quale è rappresentato dagli isolatori. Il costo dell'isolamento rappresenta pertanto solo l'1,3%.

Type	Euro	%costo totale	%isol.+giunti	% isolatori
Struttura	11.759.000	19,3%	6,6%	6,4%
Finitura	13.555.000	22,2%	5,8%	5,5%
Impianti Elettrici	8.921.000	14,6%	8,7%	8,4%
Impianti Termici ed Idraulici	9.289.000	15,2%	8,4%	8,1%
Ascensori	1.203.000	2,0%	64,8%	62,3%
Sistemazioni esterne	4.783.000	7,8%	16,3%	15,7%
Arredi	9.475.575	15,5%	8,2%	7,9%
Costi per la sicurezza	1.956.339	3,2%	39,9%	38,3%
<b>Costo totale</b>	<b>60.941.914</b>	100,0%	1,3%	1,2%
<b>Costo totale IVA inclusa</b>	<b>74.968.367</b>			

Tabella 2 Costi di costruzione e percentuale del costo degli isolatori sulle singole voci

In Tabella 2 sono riportati i costi delle singole voci dei lavori con le relative incidenze sul costo totale, nonché la percentuale del costo dell'isolamento rispetto a ciascuna voce dei lavori.

L'incidenza di altre voci di costo, quali i giunti negli impianti è veramente modesta e non influisce di fatto sui costi complessivi. Peraltro, in questo caso, il progettista ha valutato in sede di progetto preliminare, il costo della struttura realizzata con tecniche convenzionali, concludendo che il costo non sarebbe stato inferiore.

Si noti nella tabella come il costo degli isolatori risulti una voce molto modesta, inferiore anche al costo degli ascensori. Il suo valore può ritenersi inferiore alle incertezze di valutazione della spesa e può essere facilmente recuperato nell'ambito delle varie scelte del progetto.

## 7 Conclusioni

Il progetto pilota dell'ospedale di Frosinone ha consentito di affrontare e risolvere le complesse problematiche di una moderna una struttura strategica in zona sismica. L'Ospedale garantirà il funzionamento anche dopo un evento sismico intenso, con una autonomia per almeno 4 giorni prescindendo da ogni supporto esterno. L'adozione della tecnica dell'isolamento alla base si è dimostrata fondamentale. Essa, senza presentare un aggravio dei costi complessivi dell'intervento, consente di ridurre l'onere per la protezione delle attrezzature contenute nella struttura. Va sottolineata, al fine del raggiungimento dell'obiettivo di sicurezza prefissato, la necessità di una attenta progettazione di tutte le componenti dell'ospedale senza limitarsi alla mera protezione della parte strutturale. Va anzi detto che proprio le scelte generali relative alla distribuzione degli ambienti e loro destinazioni d'uso, nonché quelle relative alla configurazione degli impianti consente di garantire le performance stabilite a costi compatibili con gli stanziamenti.

In sostanza il progetto ha dimostrato la necessità di uno stretto coordinamento tra tutte le componenti progettuali che devono avere consapevolezza delle necessità legate alla garanzia di sicurezza nei confronti dell'azione sismica. In questa ottica non solo è necessario un controllo di resistenza sismica delle componenti non strettamente strutturali quali in particolare tutti gli impianti, ma va attentamente studiata la configurazione generale, le altezze interpiano, i gruppi scale ascensori, e la localizzazioni delle principali centrali impiantistiche.

Certamente questa esperienza può essere utilizzata quale esempio di riferimento per interventi futuri, e per molti aspetti, quali la organizzazione degli impianti ed i criteri di fissaggio degli stessi, non solo per le nuove realizzazioni ma anche per l'adeguamento dell'esistente. Sarà inoltre di sicuro interesse poter verificare, a costruzione conclusa ed ospedale avviato, il risultato a consuntivo.

Peraltro è da osservare che lo sforzo di coordinamento tra le competenze richieste, che hanno qui coinvolto i progettisti in senso classico e gli esperti che hanno collaborato al progetto pilota sismico, sia l'Università che gli Enti di Ricerca, rappresenta un modesto impegno aggiuntivo rispetto alle usuali complessità di coordinamento che comunque sono tipiche della progettazione delle strutture ospedaliere. Si è quindi essenzialmente trattato di aggiungere ai singoli aspetti la ulteriore valenza "sismica", non come un dato da garantire a posteriori a progetto definito, ma con scelte da effettuare sin dalle prime fasi della progettazione. Il risultato, in termini di sicurezza e quindi di risparmio in termini di costi diretti ed indiretti a fronte di eventi sismici futuri è senza dubbio notevole e giustifica senza dubbio il maggior impegno. In termini di tempo il maggior aggravio si è avuto solo in fase iniziale per stabilire i criteri generali e verificare la fattibilità tecnica, per controllare che le condizioni locali geotecniche, geologiche e geofisiche consentissero la tecnica scelta dell'isolamento alla base.

Tutti gli altri tempi sono in linea con gli usuali standard di progettazione ospedaliera.

## **Ringraziamenti**

Si ringraziano la Regione Lazio sia per la collaborazione tecnica che amministrativa che per il sostegno finanziario all'iniziativa, ed il Ministero della Sanità per la collaborazione ed il sostegno nei programmi di riduzione del Rischio sismico degli Ospedali, la ASL di Frosinone per il sostegno all'iniziativa specifica, la Comunità Europea DGXII Programme Environment per il sostegno ed il finanziamento concesso al programma Hope che ha funzionato quale promotore delle iniziative a livello Italiano. L'autore ringrazia i partners impegnati direttamente nel progetto: lo Studio Speri di Roma coordinatore della progettazione e responsabile delle strutture, il Servizio Sismico Nazionale, l'ANPA, i tecnici ed i ricercatori dell'Università di Chieti.

## **Riferimenti Bibliografici**

ATC40 096, "*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*", Report N.SSC96 1-2 November

Ferrini, M., Nuti, C., Vanzi, I., 1999. "*Seismic Risk Assessment and Mitigation of two Existing Hospitals in Italy*". Proc. 11<sup>th</sup> WCEE, Oakland, NZ, 31.1.2000-4.2.2000, also Proceedings of Workshop on Seismic Design and Retrofitting of Hospitals in Seismic Areas.

HOPE, "*Hospital Protection from Earthquakes*", CEE DGXII, Contract EV5V-CT930297. Progr. Environment, Head of Unit A. Gazi, Scient. Off. Maria Yeroyanni. Partners: STIN (IT), CETE (FR), ANPA (IT), LNEC (PR), NTUA GR, D'ANNUNZIO Univ. (IT), Coordinator C.Nuti

Pugliese, Romeo, Sanò, 1999, "*Design Seismic Input for Critical Facilities: the case study of the New Frosinone Hospital*". Proceedings of Workshop on Seismic Design and Retrofitting of Hospitals in Seismic Areas

Nuti, C., Biondi, S., Vanzi, I., 2000. *Ospedale di Frosinone, Consulenza Scientifica Relativa alla sicurezza sismica in relazione alla funzionalità del nuovo ospedale di Frosinone. Delibera n 2232 del 2/06/98. Rapporto Finale.* Dipartimento di Progettazione Riabilitazione e Controllo delle Strutture-PRICOS

Presidenza del Consiglio Superiore dei LLPP, Servizio Tecnico Centrale, 1998, “Linee guida per progettazione esecuzione e collaudo di strutture isolate dal sisma.”

### Appendice: Definizione dei livelli di performance attesi secondo ATC40

Nel documento prenormativo ATC40 [ ] si assume che il livello di performance di una struttura possa essere definito dalla intersezione dei livelli definiti per gli elementi strutturali e di quelli non strutturali. Con riferimento alla Tabella 3 si hanno: 5 livelli di danno strutturale, 4 livelli di danno non strutturale. Ogni stato viene contraddistinto da un numero che individua l’obiettivo ( lo stato) strutturale e da una lettera che individua l’obiettivo ( lo stato) non strutturale.

Non tutte le intersezioni teoricamente possibili sono logiche e convenienti: ad esempio non ha senso porsi l’obiettivo di totale integrità funzionale unita allo stato strutturale S5 che non consentirebbe l’accesso nell’edificio dopo un terremoto. Pertanto nella tabella sono indicati solo gli stati ritenuti ragionevoli. Sono state lasciate vuote le caselle relative a combinazioni illogiche quali la citata 1E. Non è stata inserita un’ultima colonna relativa al caso di un edificio privo di resistenza alle azioni orizzontali (S6) che nel caso degli ospedali è assolutamente priva di significato.

Sono stati indicati con dei nomi i livelli di performance ritenuti più significativi:

1A: operativo;

1B: rioccupabile;

3C: salvaguardia della vita umana;

5E: stabilità.

Tabella 3: Definizione delle performance di edificio come combinazione della performance strutturale e non strutturale

Danno non strutturale	Danno strutturale				
	S1 agibilità im-mediata	S2 danno control-lato	S3 salvaguardia della vita umana	S4 salvaguardia limitata	S5 stabilità
NA operativo	1A operativo	2A			
NB uso immediato	1B rioccupabile	2B	3B		
NC salvaguardia vita	1C	2C	3C salv. vita umana	4C	5C
ND rischio ridotto		2D	3D	4D	5D
NE non considerato			3E	4E	5E Stabilità

Prima di entrare nel merito delle combinazioni che servono a definire la performance globale dell’edificio si dà una breve illustrazione dei livelli di performance strutturale e non strutturale.

#### Performance strutturali.

- S1:** *agibilità immediata*. Il danno strutturale è del tutto trascurabile e l'edificio è in grado di essere utilizzato senza alcuna limitazione dovuta a cause strutturali.
- S2:** *danno controllato*. Si tratta di un livello intermedio tra S1 ed S3 e può essere definito in varie maniere. In taluni casi si vuole che certi edifici abbiano un livello contenuto di danno per ridurre il rischio di perdere il contenuto di alto valore, però l'uso immediato è escluso. Si può pensare che questo sia il livello cui tendono le norme recenti nelle zone sismiche.
- S3:** *salvaguardia della vita umana*. È il livello nel quale vi possono essere anche notevoli danni strutturali, tuttavia non vi sono pericoli per la vita per effetto del crollo di elementi strutturali. Naturalmente saranno necessari importanti interventi di riparazione dopo un evento sismico intenso.
- S4:** *salvaguardia limitata*. È un livello intermedio tra S3 ed S5 e come tale viene definito.
- S5:** *stabilità*. L'edificio si trova sulla soglia del collasso ma sopporta ancora i carichi verticali. Non è detto che possa essere conveniente ripararlo così come un forte aftershock potrebbe causarne il collasso. In generale non ha senso prevedere una protezione non strutturale per edifici con questo livello di performance strutturale in vista appunto della scarsa propensione alla riparazione.

### **Performance non strutturali**

- NA:** *operativo*. Tutti gli elementi non strutturali e gli impianti sono operativi dopo il terremoto. Vi potrà essere qualche problema locale e la necessità di effettuare un lavoro di ripulitura. Senza dubbio ci si deve aspettare che manchino alcuni servizi esterni: la fornitura di energia elettrica, di gas ecc., per i quali si deve prevedere una soluzione alternativa interna.
- NB:** *rioccupabile*. Si può avere un certo livello di danneggiamento. Tuttavia grazie al fatto che i componenti non strutturali ed impiantistici sono stati adeguatamente «controventati» o fissati si trovano tutti al loro posto. Si può pensare che per effetto delle alte accelerazioni alcune attrezzature non funzionino più in modo adeguato e che inoltre non sia stato previsto una totale sostituzione dei servizi esterni che possano venire a mancare, per cui vi può essere una certa limitazione funzionale.
- NC:** *salvaguardia della vita*. Vi possono essere danni non strutturali considerevoli tuttavia è escluso il pericolo di ferimento grave dovuto alla caduta di elementi pesanti sia all'interno che all'esterno dell'edificio, in quanto questi devono essere tutti ben fissati. Allo stesso tempo dovrebbero essere esclusi danni alle persone come conseguenza del collasso di elementi dal contenuto pericoloso quali gas in pressione ed in genere materiali tossici. Tuttavia non può essere escluso il ferimento di qualche occupante.
- ND:** *rischio ridotto*. Si accetta un danneggiamento molto forte dei componenti non strutturali, tuttavia si deve escludere il collasso di elementi molto pesanti (quali i parapetti, i camini, le tamponature esterne od i controsoffitti pesanti) tali da causare il ferimento serio di gruppi di persone. Vi può essere qualche ferito in modo serio ma vi è una bassa possibilità di ferimento grave di gruppi di persone sia dentro che all'esterno dell'edificio.
- NE:** *non considerato*. Questo non è un livello di performance mentre la pratica corrente spesso trascura completamente la protezione dei componenti non strutturali sia nel nuovo che negli adeguamenti. Il risultato è il livello NE che quindi deve spesso essere atteso dopo un evento sismico, con notevoli distruzioni e danni alle cose ma anche alle persone. Questa è certamente una situazione da evitare almeno negli ospedali e nelle strutture strategiche in genere.

### **Combinazione tra performance strutturali e non strutturali**

Come detto in precedenza la combinazione tra performance strutturali e non strutturali dà luogo alle performance di edificio. La scelta delle performance di edificio è competenza oltre che del progettista anche dal «gestore» dell'edificio.

Prima di trattare dei criteri che possono orientare verso la scelta di un livello è bene descrivere le combinazioni ritenute essenziali.

- **1A: Operativo.** L'edificio rimane perfettamente funzionale dopo l'evento sismico con danni pressoché nulli alla parte strutturale e non strutturale. Dato che è molto probabile che i servizi esterni (luce, gas, acqua, telefono oltre, ad esempio, il rifornimento dei viveri, la nettezza urbana o altro) vengano meno occorre prevedere dei criteri di funzionamento alternativi (ad esempio per la luce un adeguato generatore con sufficiente autonomia, per l'acqua una riserva adeguata ecc).
- **1B: Rioccupabile.** L'edificio è strutturalmente integro con qualche problema non strutturale e di funzionamento. Infatti è possibile ancorare gli impianti ed in genere le parti non strutturali, non altrettanto è possibile garantire che lo scuotimento non danneggi il funzionamento delle attrezzature né è sempre possibile garantire la sostituzione dei servizi esterni mancanti.
- **3C: Salvaguardia della vita umana.** Le strutture garantiscono che l'edificio sopravviva al terremoto, i danni non strutturali e funzionali saranno notevoli ma senza pericolo di ferire seriamente gli occupanti. Va detto che, in generale, gli edifici nuovi dovrebbero trovarsi in situazioni leggermente più favorevoli di questa.
- **5E: Stabilità strutturale.** Si può garantire la sopravvivenza dell'edificio ad una scossa ma non ad una replica. Il prezzo è quello della distruzione interna e della difficile riparabilità successiva.
- **3D: Sopravvivenza strutturale.** Questo livello consiste nel garantire la sopravvivenza della struttura ad un livello di danno ancora contenuto con una certa capacità di subire ulteriori repliche. Il danneggiamento non strutturale è contenuto entro certi limiti avendo in qualche modo ancorato ed irrobustito i componenti più pesanti o quelli con contenuti molto pericolosi. Tuttavia si accetta che il danneggiamento delle componenti non strutturali possa dar luogo ad un certo livello di rischio per la vita umana. In California si ritiene che questo sia lo standard minimo da garantire nell'adeguamento per l'edificio soggetto ad un terremoto di progetto con periodo medio di ritorno di circa 500 anni ( $p = 0.10$  in 50 anni). Si tratta di un livello inferiore a quanto si tende a realizzare nelle nuove costruzioni. In Italia anche questo livello di protezione per le componenti non strutturali non viene in alcun modo preso in considerazione negli interventi di adeguamento.
- **3B: Rioccupabile con danni.** Adatto quando è difficile eseguire un rinforzo strutturale migliore ma i contenuti sono di alto valore. Il livello può essere assegnato solo agli ambienti contenenti elementi non strutturali di elevato valore.

Intensità sismica da considerare per la verifica.

Nel caso in esame, si sono ritenute adeguate le scelte effettuate dallo Stato della California in quanto rappresentano comunque un notevole salto di qualità rispetto alla pratica usuale.

I valori delle intensità sismiche per le verifiche si ottengono dalle curve riportate in Fig. 1. Il livello 1B si verifica con l'intensità avente eccedenza del 10% in 50 anni, pari a circa 0.25g, mentre lo stato 5E con l'intensità avente eccedenza del 2% in 50 anni, pari a circa 0.33g. Il legame tra periodo medio di ritorno  $T$  e probabilità di collasso  $p$  nella durata  $t=50$  anni è dato dalla seguente relazione:

$$p(T) = 1 - e^{-\frac{1}{T}t}$$