

---

## **sintesi di tesi di laurea**

---

**Università degli Studi di Firenze - Facoltà di Ingegneria**

**Corso di Laurea: Ingegneria Edile Magistrale**

**ADEGUAMENTO SISMICO DI UN SERBATOIO OSSIGENO LIQUIDO PRESSO L'OSPEDALE DI SANTA MARIA NUOVA.**

*Autore:* Enrico MARMONTI

*Relatori:* Prof. Ing. Giuseppe GRAZZINI, Dott.ssa Carla BALOCCO

*Data di Laurea:* 13 Ottobre 2010

### **PRESENTAZIONE**

*Questo lavoro di Tesi, che in primis ho seguito come relatore, si pone all'interno di una ricerca interdisciplinare che vede coinvolte ed interagenti, tematiche importanti che riguardano il rischio sismico. L'attuale ricerca operativa ed applicativa condotta dal Prof. Andrea Vignoli (Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Firenze) in merito alla protezione sismica delle strutture e degli edifici civili, in particolare per la "Missione Abruzzo", nonché la ricerca e sviluppo in merito alle più efficienti tecnologie e tecniche strutturali degli edifici, condotta dal Prof. Paolo Spinelli in particolare nell'ambito del "Progetto CASE", hanno costituito riferimento e supporto basilare allo sviluppo del tema "Adeguamento sismico degli impianti ospedalieri: il caso studio di S. Maria Nuova a Firenze" che costituisce l'argomento di tesi dell'Ing. Enrico Marmonti.*

*Come si evince dal testo dell'articolo inerente la tesi, l'argomento è particolarmente complesso e richiede un approccio multidisciplinare, appartenendo al campo della fisica tecnica ambientale e del restauro, alla progettazione del sistema costruttivo e strutturale, nonché alle metodologie conoscitive circa il quadro delle lesioni ed interpretazione della struttura e dei dissesti prodotti da un evento sismico. Nella tesi è stata trattata la dinamica dei fluidi causata da un sisma e i suoi effetti sulla struttura. Ciò allo scopo di valutare l'efficienza di dispositivi di protezione sismica per componenti impiantistici.*

*Dott.ssa Carla Balocco*

## INTRODUZIONE

La problematica sismica degli impianti ospedalieri è di notevole interesse per chi si occupa di impiantistica civile, a cui convegni e pubblicazioni recentemente hanno dedicato attenzione e approfondimento.

Per un edificio coinvolto da azioni sismiche di qualunque grado gli effetti sono immediatamente verificabili per presenza di fessurazioni o dissesti strutturali, fino al collasso, mentre per gli impianti invece soltanto dopo un attento esame è possibile constatare quanto il rischio di pericolosità per l'uomo sia presente ben prima della fase di collasso. Le ispezioni dei sistemi non strutturali dopo gli episodi sismici recenti del 1997 in Umbria e Marche, oltre quelli più recenti in Abruzzo, hanno dimostrato come alcune dichiarazioni di inagibilità non fossero dovute soltanto a danni strutturali significativi. Alla luce di ciò grande attenzione è stata data anche agli elementi non strutturali di questi edifici che, in caso di evento sismico, sono di importanza strategica e a cui è richiesto di divenire presidi operativi per il soccorso della popolazione.

Nella seguente trattazione è proposta un'analisi dinamica, e successivo adeguamento, di un serbatoio di ossigeno liquido posto in prossimità del reparto di degenza nella struttura ospedaliera di Santa Maria Nuova in Firenze, attualmente oggetto di interventi di ammodernamento impiantistico.

Partendo dall'analisi delle prestazioni richieste dalla normativa per questi elementi non strutturali, una successiva analisi del comportamento dinamico del sistema strutturale accoppiato al fluido in esso contenuto, si intende fornire una metodologia di approccio al problema della protezione sismica di questi elementi impiantistici il cui danneggiamento espone la struttura ospedaliera a rischi di esplosione e interruzione di operatività.

## IL MOTO DEI FLUIDI NEI SERBATOI

Nella progettazione di serbatoi e contenitori in zona sismica occorre considerare, in aggiunta ai carichi gravitazionali, anche le azioni causate da sollecitazioni di tipo sismico. Lo studio del comportamento di un liquido in un contenitore sottoposto ad accelerazione ebbe inizio con studi condotti dalla NASA nel 1950, in cui furono

affrontati i problemi delle azioni dei propellenti liquidi dei razzi sulle pareti dei serbatoi.

Housner nel 1957 pubblicò la prima teoria matematica completa che descrive il comportamento dinamico del liquido in un contenitore rigido, mediante la somma degli effetti "impulsivo" (rappresentante l'azione della parete di liquido in moto con le pareti) e "convettivo" (relativo invece al movimento di oscillazione) limitando tale effetto al solo primo modo di vibrare del sistema. Il successivo terremoto dell'Alaska nel 1964 provocò il danneggiamento ed il collasso di grandi serbatoi metallici e mise in evidenza come per elementi costruiti con questo materiale non si possa prescindere dalla deformabilità delle pareti nella stima delle azioni idrodinamiche. Ciò indirizzò i ricercatori a meglio definire il grado di interazione dinamica tra le pareti del serbatoio, considerate deformabili, ed il liquido mettendo in evidenza da risultati sperimentali come al risposta sismica in un serbatoio flessibile sia di gran lunga maggiore di uno considerato rigido.

Quando un serbatoio è completamente pieno, non esiste la possibilità di un movimento relativo tra liquido e serbatoio. Si assiste pertanto ad un unico sistema rappresentato dall'insieme liquido-serbatoio, che costituiscono una sola massa e da cui non possono nascere fenomeni (impulsivi e convettivi) legati all'interazione. Viceversa, quando un serbatoio è parzialmente riempito, l'eccitazione sismica mette in moto una parte del liquido e si vengono a formare delle onde superficiali. Tale evento è da mettere sempre in conto nelle analisi poiché, come dimostrato da Jacobsen e Ayre nel 1951, è sufficiente un franco del 2% per innescare il moto ondoso della superficie.

Come precedentemente detto l'azione del liquido in moto sul serbatoio può essere scomposta in due parti:

1. Azione passiva che provoca *pressioni impulsive*: causate da quella parte del liquido. la cui massa è detta massa passiva, che reagisce per inerzia opponendosi alla traslazione delle pareti del serbatoio;

2. Azione attiva che provoca le *pressioni convettive*: sono causate dalla restante parte di liquido, la cui massa è detta "massa attiva" messa in oscillazione per effetto del sisma;

Considerando solamente il primo modo di oscillazione del liquido il corrispondente moto è pari al piano della superficie libera, con asse di rotazione orizzontale e ortogonale alla direzione dell'eccitazione (fig.1).

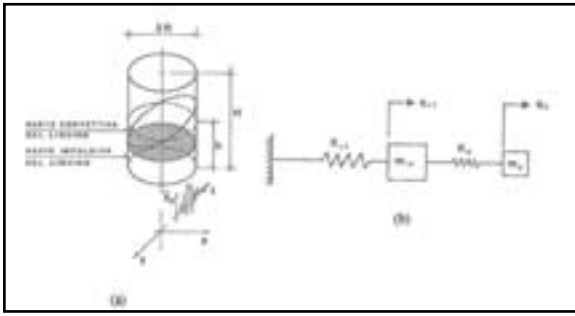


Figura 1 modelli dinamici per serbatoi

Studi del Prof. Ing. Vignoli [1] forniscono all'argomento precedentemente introdotto, esaustiva trattazione e ampia visione complessiva. Nello studio del moto in serbatoi con superficie del liquido libera, sono considerate ipotesi fondamentali in cui :

- Sono trascurati i fenomeni viscosi;
- Il liquido del serbatoio è considerato incomprimibile;
- La base del serbatoio è capace di trasmettere al sistema contenitore-liquido le accelerazioni del suolo;
- si trascura l'effetto dell'aria contenuta nel liquido;
- il numero di Reynold è trascurabile, tanto da trascurare l'effetto della turbolenza;

Il modello meccanico equivalente per i serbatoi cilindrici alti, nella formulazione rielaborata da Epstein [2], è invece visibile in fig.2.



Figura 2 modello meccanico di Epstein

Posta la massa complessiva del liquido contenuta nel serbatoio cilindrico, di altezza  $h$  e raggio  $R$ , pari a  $m = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot h$ . Le azioni a pressione impulsiva sulle pareti sono fornite da un doppio contributo della massa in quiete  $m_i$ , non soggetta alle oscillazioni del liquido e posta ad un'altezza  $h_i$  rispetto alla base del serbatoio

$$m_i = 1,064 \cdot m \cdot \frac{R}{h} \text{ e con } h_i = \left(1 - \frac{15}{16} \cdot \frac{R}{h}\right) \cdot h, \text{ e dalla}$$

massa passiva del liquido in quiete è invece schematizzata dalla massa  $m_i$ . Il contributo inerziale che fornisce al sistema è schematizzabile

con una connessione infinitamente rigida alle pareti del serbatoio, posta ad una quota rispetto alla base del serbatoio  $h_r$  quota delle risultanti delle pressioni.

$$m_r = \left(1 - \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{h}\right) \cdot m \quad h_r = \left(\frac{1}{2} - \frac{3}{4} \cdot \frac{R}{h}\right) \cdot h$$

Per quanto concerne le pressioni convettive l'azione delle oscillazioni del liquido in moto è schematizzabile secondo una massa  $m_c$

$$m_c = 0,315 \cdot m \cdot \frac{R}{h} \text{ posta ad una quota } h_c \text{ rispet-$$

$$\text{to alla base del serbatoio } h_c = \left(1 - \frac{0,479R}{h}\right) \cdot h$$

connessa alle pareti di quest'ultimo attraverso molle di rigidità  $k_c$  al fine di valutare il contributo al sistema delle oscillazioni dovute al moto ondoso del liquido eccitato.

Il modello di Housner per i serbatoi rigidi è quello di più diffusa applicazione. A questo fa riferimento anche una proposta elaborata dalla commissione ASCE (*Committee on Seismic Analysis of the Committee on the Nuclear Structures and Materials*) per l'analisi di serbatoi anche flessibili[3].

L'azione sismica è valutata secondo le relazioni di calcolo stabilite da normativa vigente [4],[5], mentre nella valutazione degli effetti conseguenti alle componenti orizzontali dell'accelerazione al suolo del terreno viene utilizzato il valore  $S_g(T_s, n_g)$  dedotto dallo spettro di risposta di progetto. Il periodo  $T_s$  è relativo alla prima forma modale flettente del sistema costituito dalle pareti del serbatoio e dalla massa impulsiva del liquido.

Il periodo di vibrazione flessionale del sistema dinamico serbatoio-liquido è valutato considerando un sistema a due gradi di libertà che tiene conto di due distinti contributi, del serbatoio e massa impulsiva, associata alla massa convettiva del liquido.

Lo schema dinamico di riferimento è riportato in fig.1 (b), dove:

- $m_c$  e  $k_c$  sono i parametri meccanici relativi al moto convettivo;
- $m_{i,f}$  è la somma della massa impulsiva del liquido con quella della parete  $m_{i,f} = \frac{m_1}{U_1^2}$
- $k_{i,f}$  la rigidità equivalente del serbatoio  $k_{i,f} = \omega_m^2 \cdot \frac{m_1^2}{U_1^2}$
- $m_1$  massa generalizzata del sistema costituita dalla massa  $m_s+m_i$  ;
- $U_1$  la componente secondo l'asse di eccitazione sismica;

Con riferimento a questi parametri è possibile determinare la frequenza propria. ω<sub>if</sub> pulsazione conseguente al moto impulsivo del liquido e alla flessibilità del serbatoio. del modello rappresentata dalla relazione:

$$\omega_{i,f}^2 = \frac{k_{i,f} + k_c}{2m_{i,f}} + \frac{k_c}{2m_c} m \sqrt{\frac{1}{4} \left( \frac{k_{i,f} + k_c}{m_{i,f}} + \frac{k_c}{m_c} \right)^2 - \frac{k_{i,f} \cdot k_c}{m_{i,f} \cdot m_c}}$$

Per serbatoi di forma semplice in cui si voglia considerare la deformabilità delle pareti è opportuno considerare un valore di rapporto di smorzamento (v<sub>s</sub>) per il primo modo naturale del serbatoio. In tale movimento si considera rigidamente collegata alle pareti del serbatoio la parte del liquido che nell'equivalente meccanico è rappresentato dalla massa impulsiva. Ne risulta quindi che i valori di smorzamento viscoso equivalente devono essere valutati con riferimento al comportamento dinamico delle pareti del serbatoio. Trattandosi di un serbatoio in acciaio viene quindi adottato un valore di v pari al 2% e le ordinate dello spettro di progetto utilizzato, generalmente fornite per uno smorzamento del 5%, sono modificate moltiplicandole per un valore  $\sqrt{\frac{5}{v}}$ .

### IL CASO STUDIO: IL SERBATOIO DELL'OSPEDALE DI SANTA MARIA NUOVA.

Il serbatoio oggetto dello studio è situato al di fuori dell'edificio contenente la degenza ospedaliera, situato all'esterno e contenuto entro setti in C.A. Da rilievo effettuato è stato possibile risalire al modello utilizzato (prodotto dalla ditta Cryolor, modello Celine 3), alle caratteristiche geometriche ed alle specifiche tecniche.

In particolare l'impianto è caratterizzato dall'assenza di un gruppo frigorifero che mantenga l'ossigeno liquido alla temperatura operativa di -195°C (necessaria a non avere il cambiamento di fase da liquido a gassoso, come sarebbe altrimenti stabile in condizioni esterne) ma piuttosto tale condizione è mantenuta da un'aliquota di liquido (pari al 5%) che attraverso il cambiamento di fase attraverso evaporatori esterni, sottrae calore al sistema.

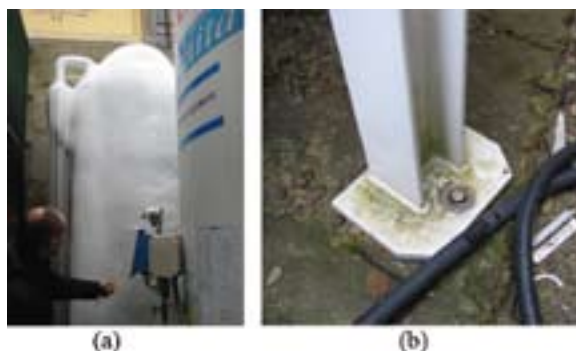


Figura 3 Situazione da visita in cantiere (a) evaporatori ricoperti dal ghiaccio (b) attacco a terra insufficiente per serbatoio

A causa delle basse temperature a cui gli evaporatori sono mantenuti per il passaggio dell'ossigeno liquido ancora in fase liquida, essi trasformano l'acqua contenuta nell'aria in ghiaccio, accumulando blocchi consistenti come visibile in fig.3(a). In caso di evento sismico tale massa di ghiaccio può andare, a sollecitare notevolmente le strutture di sostegno (in alluminio e normalmente progettate per i carichi gravitazionali dell'elemento), assolutamente insufficienti a sopportare tali sollecitazioni. Inoltre tali strutture presentano una dinamica propria disaccoppiata dal serbatoio stesso, per cui è possibile che si verifichi un martellamento tra queste strutture molto prossime tra loro, tali da provocarne la rottura con conseguente fuoriuscita di gas.

Dalle Raccomandazioni del ministero della sanità [6] (che recepiscono la normativa statunitense ATC 51-2 sulla protezione sismica degli impianti ospedalieri) i serbatoi di ossigeno sono considerati di vulnerabilità elevata in quanto caratterizzati generalmente da rapporti altezza base di circa 2.5 (il serbatoio considerato ha rapporto pari a 4) e quindi spesso soggetti a ribaltamento, frequentemente a causa di un insufficiente dimensionamento dei bulloni di ancoraggio. Poiché l'ossigeno è un gas medicale utilizzato nelle terapie ospedaliere ed è necessario nel periodo di emergenza dopo il sisma, per tale elemento impiantistico si consiglia, nell'adeguamento di ospedali esistenti, un ancoraggio efficace a terra. Nella fig.3(b) è possibile vedere come l'ancoraggio determinato in fase di rilievo non sia assolutamente sufficiente a tale scopo.

Il peso complessivo (comprendente il peso a vuoto del serbatoio e la capacità di ossigeno) è pari a 265 kN. Da rilievo le strutture di sostegno sono costituite da tre profilati in acciaio HEB100 in acciaio S235 di 1.2 m di lunghezza complessiva).

### ANALISI DELLA DINAMICA DEL SERBATOIO

Il modello meccanico di riferimento, per il calcolo degli effetti idrodinamici, risulta quindi essere costituito da un serbatoio di altezza h=1.5 R solidale ad un corpo rigido costituito dalla rimanente parte. Il calcolo dei parametri meccanici si effettua con riferimento alla parte del liquido in moto.

Il modello fisico è stato analizzato attraverso con un programma commerciale, con masse coinvolte dall'evento sismico visibile nella tab.1,

andando a valutare due differenti configurazioni: la prima corrispondente allo stato di fatto con soli sostegni verticali e la seconda andando a prevedere una controventatura aggiuntiva alla base per limitare lo spostamento orizzontale ed evitare interazioni con gli evaporatori esterni, anch'essi modellati e visibili in fig.4.

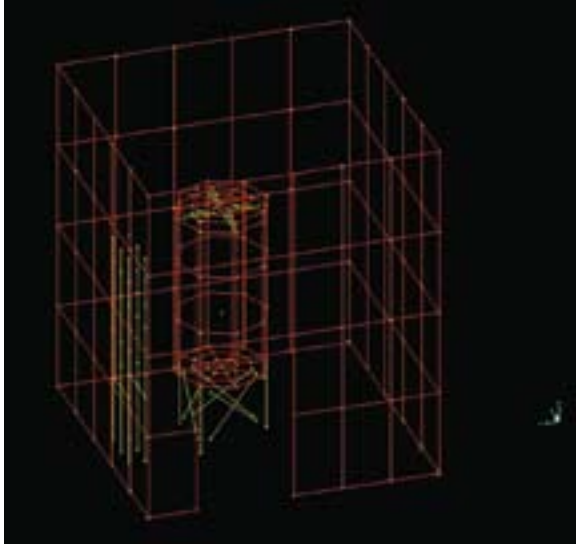


Figura 4 Modello fisico serbatoio con controventi alla base

Tabella 1 Masse coinvolte dal moto sismico

$m_i$	63.42	kN	$h_i$	1674.38	mm
$m_c$	18.78	kN	$h_c$	1926.55	mm
$m_r$	147.94	kN	$h_r$	682.50	mm
$k_c$	0.61				

I giunti di attacco al terreno sono stati modellati come incastrati. Per considerare la resistenza a momento flettente del giunto a terra del serbatoio, oltre a inserire degli elementi di controvento per aumentarne la rigidità traslazionale in direzione orizzontale. Al di sotto del serbatoio è infatti presente una serpentina in acciaio che collega il serbatoio con gli evaporatori collegati a terra, per cui si ritiene necessario limitare gli spostamenti differenziali tra terreno e fondo del serbatoio.

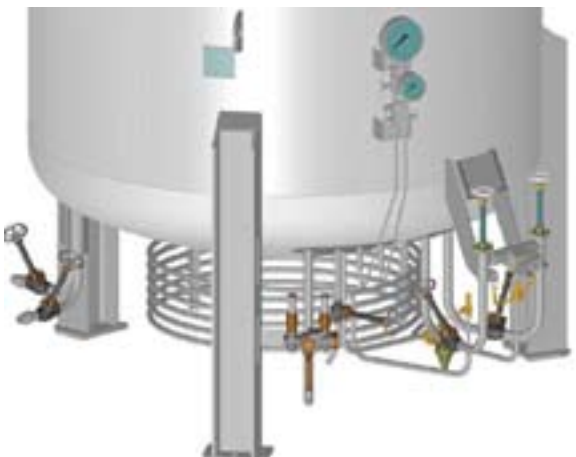


Figura 5 Serpentina di collegamento serbatoio evaporatori

L'analisi è effettuata andando a valutare i differenti spettri di progetto previsti dalla normativa, aggiungendo ad essi lo spettro di progetto corrispondente a sisma dalle caratteristiche fornite dalle Raccomandazioni ATC 51/[6] (con probabilità di superamento del 50% in 50 anni), per la verifica di completa operatività specifica a questi elementi non strutturali, e verificando per essi la risposta prestazionale della struttura. Gli spettri di progetto per la valutazione dell'azione sismica sono valutati considerando le pareti in acciaio la deformabilità delle pareti in acciaio con un fattore di smorzamento  $v$  del 2%, differente dal 5% normalmente valutato per gli edifici.

Si intende mantenere nella verifica di operatività gli elementi strutturali di supporto in campo elastico, poiché non è consigliabile prevedere possibilità di dissipazioni di energia con deformazioni in campo plastico per queste strutture. Per la verifica degli elementi strutturali esistenti sono invece utilizzate le sollecitazioni derivanti dallo spettro di progetto per lo Stato limite di Collasso, condizione più gravosa in cui il serbatoio può essere sollecitato.

## RISULTATI E ADEGUAMENTI STRUTTURALI

Gli elementi di sostegno risultano verificati nelle due condizioni con sollecitazioni ampiamente inferiori al limite elastico dell'elemento, visibile in Tab2, mentre la soluzione del controventamento è ritenuta maggiormente rispondente per la limitazione consistente degli spostamenti del punto di controllo, posto nella parte centrale inferiore del serbatoio.

Le strutture di attacco a terra devono essere soggette a maggiore attenzioni poiché, mentre la ditta produttrice garantisce per la struttura metallica di sostegno dell'elemento, il collegamento può invece essere soggetto ad incertezze di verifica o di esecuzione.

Tabella 2 Sollecitazioni da SLC per struttura di sostegno

		$\sigma_{x,Ed}$	$\sigma_{y,Ed}$	$\tau_x$	$\tau_y$	$\tau_{Tmax}$	
serbatoio senza controventi	Sostegno 1	-62.5767	-62.8072	0.0010	0.0000	1.1518	verificato
	Sostegno 2	-68.3852	-68.6217	0.0000	0.0000	0.0003	verificato
	Sostegno 3	-96.6514	-95.6125	0.0071	0.0000	0.0001	verificato
serbatoio con controventi	Sostegno 1	-73.9344	-74.1279	0.0010	0.0000	1.1518	verificato
	Sostegno 2	-72.4823	-72.7615	0.0010	0.0000	0.0003	verificato
	Sostegno 3	-96.6514	-95.6125	0.0071	0.0000	0.0001	verificato

L'adeguamento dell'attacco è avvenuto andando ad aggiungere alla piastra esistente una ulteriore piastra, saldata a quest'ultima, tale da aumentarne le dimensioni geometriche riducendo le tensioni di contatto con il calcestruzzo, collegando con tirafondi in acciaio il serbatoio ad un plinto appositamente realizzato. Nel-

la progettazione e verifica dell'elemento sono considerate le forze orizzontali e verticali utilizzate precedentemente determinate nell'analisi e verifica delle pareti del serbatoio, pari all'involuppo delle reazioni del vincolo ad incastro del modello fisico analizzato, visibili in fig.6(a).

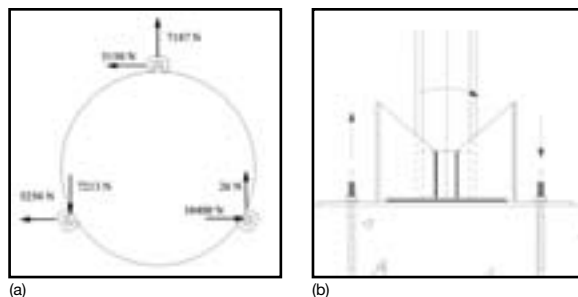


Figura 6 Adeguamento struttura metallica serbatoio

Un ulteriore elemento critico è rappresentato dagli evaporatori dell'ossigeno (per mantenere come detto il sistema impiantistico a  $-195^{\circ}\text{C}$ ) con presenza di colonne di ghiaccio di 80 cm di diametro e 2.5 m di altezza, poste in verticale, ad una distanza di circa 70 cm dal serbatoio e sostenute da elementi in alluminio, adatti (sia per materiale adottato, sia per dimensioni del profilato) a sostenere il solo carico gravitazionale del complesso.

Da un punto di vista impiantistico tale soluzione non si presenta nemmeno come l'ottimale: evaporatori posti in verticale rendono molto bassi i coefficienti di scambio (l'aria lambisce la superficie e salendo si raffredda sempre più abbattendo l'energia trasmessa per convezione) tra la superficie metallica e l'aria, necessitando pertanto di maggiori superfici per ottenere lo stesso effetto. Anche la sezione alettata in cui avere la dissipazione del calore, conseguenza del cambiamento di fase dallo stato liquido al gassoso, abbatte ancora di più i coefficienti di scambio tra gli elementi in quanto la distanza tra due alette risulta molto bassa.

L'effetto che deriva dalla concomitanza di queste caratteristiche è la inevitabile formazione di condensa ghiacciata intorno alle superfici di scambio che, non riuscendo a disperdere in modo efficace, sono a bassissime temperature. Tale situazione è infatti stata riscontrata nel rilievo effettuato agli impianti in più occasioni ed in diverse stagioni.

La formazione di tale ghiaccio deve essere prevenuta poiché rappresenta una massa considerevole stimata in circa 107 kN. Inoltre la formazione di ghiaccio intorno alle superfici di scambio riduce ulteriormente lo scambio termico vanificando gli effetti e rendendo necessaria

una ridondanza di sistemi con ulteriori batterie alettate che compensino quelle non funzionanti. Infatti delle otto presenti almeno quattro non erano in piena funzionalità.

Per risolvere tale problematica si procede alla modifica sostanziale del sistema di scambio utilizzando degli scambiatori, posti piuttosto in orizzontale e senza alette, come visibile in fig.7.

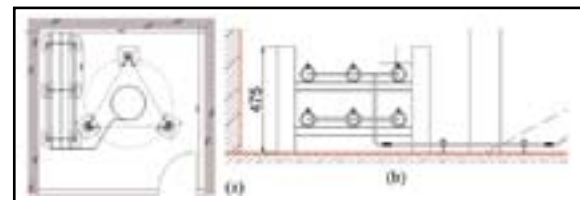


Figura 7 Adeguamento strutture sostegno evaporatori

Questa soluzione permette di ottenere migliori condizioni di scambio, poiché l'aria dopo aver lambito la superficie sale e lascia lo scambio alla successiva, limitando al massimo il rischio di formazione di ghiaccio intorno agli elementi. Nell'ipotesi, non controllabile, di avere comunque ghiaccio sugli elementi, nel peggiore delle ipotesi si viene a formare una massa che presto arriva in contatto con il terreno e su esso scarica il proprio peso. La quota massima delle batterie di scambio è di 30 cm dalla superficie del terreno.

Questo permette di ridurre considerevolmente l'azione statica equivalente, direttamente proporzionale alla quota  $z$  del baricentro delle masse, e di distribuire l'effetto di spinta non più sul solo sostegno verticale ma su tre elementi. L'azione statica che si ottiene su tali masse risulta in questo modo molto bassa. A sostegno degli elementi viene comunque realizzato un telaio a due piani con profilati in acciaio S235 collegato a terra attraverso piastre saldate ai profilati e imbullonate a terra. Per ottenere un vincolo ad incastro anche per i nodi tra i diversi profilati si procede al collegamento saldato anche tra i diversi profili in acciaio. In allegato al seguente lavoro sono contenute le tavole con i dettagli esecutivi.

Infine particolare attenzione è stata posta al collegamento tra il serbatoio e gli evaporatori, precedentemente connessi direttamente con un tubo in acciaio di diametro 10 mm.

Si procede inoltre all'inserimento di due giunti snodabili di collegamento tra gli evaporatori e la serpentina di collegamento al serbatoio. Dall'analisi dinamica si riscontra infatti uno spostamento orizzontale del serbatoio in caso di evento sismico pari a 0.2 mm dopo l'intervento di irrigidimento del collegamento a terra.

Per permettere comunque spostamenti relativi tra i due elementi, evaporatore e serbatoio, si divide in tre parti il tubo metallico di collegamento, bloccando a terra la parte centrale ed inserendo i giunti snodabili che permettano sia uno spostamento che una rotazione tra gli elementi senza fornire deformazioni alla sezione metallica e prevenendo così possibili rotture con connesse interruzioni del servizio o dispersione di ossigeno nell'ambiente circostante.

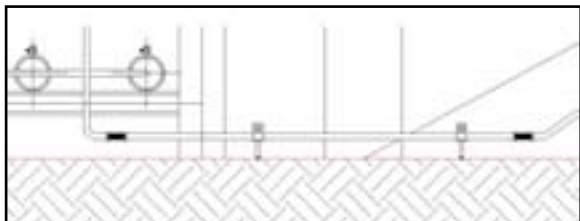


Figura 8 Giunto di collegamento

## CONCLUSIONI

La verifica ed adeguamento sismico degli elementi impiantistici, considerati non strutturali, richiede competenze ampie per il campo di applicazione intrinsecamente trasversale e a cavallo tra l'ingegneria strutturale e impiantistica. La strategicità, oltre alla notevole fragilità per la estesa presenza di elementi tecnologici, poi della struttura ospedaliera richiede un approccio ancora più attento e specifico della risposta dell'intera struttura (quindi composta da edificio ed elementi impiantistici in esso contenuti) a sollecitazioni sismiche. Alcuni elementi impiantistici poi sono caratterizzati da rischi specifici perché sotto pressione e/o con contenuti infiammabili o a rischio esplosione, spesso installati prossimi agli edifici di cui sono a servizio.

La trattazione proposta si propone quindi come modello per l'analisi e verifica con adeguamento, per queste strutture ampiamente presenti nelle strutture ospedaliere e spesso installate sottovalutando alcuni aspetti non prettamente impiantistici sottovalutando che l'efficienza dell'elemento passa anche dalla sua sicurezza.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Prof.Ing. Andrea Vignoli per il supporto e la piena disponibilità dimostrata e l'Ing. Luca Sani dello *Studio Ing. Sani* di Firenze per la preziosa collaborazione e i dati tecnico-impiantistici forniti essenziali per questo lavoro.

## KEYWORDS

Sismica, Impianti, Protezione Sismica di Impianti, Impianti Ospedalieri, Serbatoi e moto dei fluidi

## BIBLIOGRAFIA

- [1] VIGNOLI A.: "Serbatoi in zona sismica", Firenze, 1986.  
 [2] H.I.ESPTEIN "Seismic Design of Liquid Storage Tanks", journal of the structural division ASCE, vol. 102,n°9, settembre 1976.  
 [3] D.D.KANA:"Status And Research Needs For Prediction Of Seismic Response In Liquid Containers", Nuclear Engineering and Design, 69, 1982.  
 [4] D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni".  
 [5] Circolare Applicativa del 2/1/2009, n. 617 Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.  
 [6] Ministero della Salute: "Raccomandazioni per il miglioramento della sicurezza sismica e della funzionalità degli ospedali".  
 [5] BALLIO G., MAZZOLANI F.M. : "Strutture in acciaio", HOEPLI, Milano, 2007.  
 [6] C.I.G. "Linee guida per l'applicazione della normativa sismica nazionale alle attività di progettazione, costruzione e verifica dei sistemi di trasporto e distribuzione per gas combustibile". Aprile 2009.  
 [7] COMI C., CORRADI DALL'ACQUA L.: "Introduzione alla meccanica strutturale", Mc Graw Hill, Milano, 2008.  
 [8] DE SORTIS A., DI PASQUALE G., DOLCE M., GREGOLO S., PAPA S., RETTORE G.F. : "Linee Guida per la riduzione della vulnerabilità di elementi non strutturali, arredi ed impianti", 2009.  
 [9] POZZATI P., CECCOLI C.: "Teoria e tecnica delle strutture", UTET, Torino, 1986.  
 [11] TAUBYE ALTRI: "A Practical Guide to Seismic Restraint", ASHRAE, 1999.  
 [13] AICARR: "Impiantistica Antisismica" atti del convegno AICARR del 26 Marzo 2010, Milano.  
 [14] Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 Classificazione sismica del territorio nazionale.  
 [15] Ordinanza PCM n° 3431 del 04/05/05 Ulteriori modifiche ed integrazioni all' Ordinanza del P.C. M. n° 3274 del 20/03/2003.

## PUBBLICAZIONI

- Marmonti E.: "Studio delle Prestazioni Termiche ed illuminotecniche della serra solare dell'ospedale Meyer in Firenze", Tesi di Laurea in Scienza dell'Ingegneria Edile, Aprile 2008.
- Balocco C., Marmonti E., "Prestazioni termiche ed illuminotecniche della Serra Solare del Nuovo Ospedale Meyer di Firenze", CDA, Condizionamento dell'Aria Riscaldamento e Refrigerazione, n.9, ottobre 2008, pp.52-60.
- Marmonti E.: "Adeguamento sismico degli impianti ospedalieri: il caso studio di Santa Maria Nuova a Firenze", Tesi di Laurea in Ingegneria Edile Magistrale, Ottobre 2010.
- Balocco C., Marmonti E. "Thermal performance of the new hall of the historical hospital in Florence" Comsol Conference, Stuttgart, 2011, 26-28 Ottobre 2011.
- Balocco C., Marmonti E., "La camera di luce dell'antico ospedale di Santa Maria Nuova a Firenze", Luce, n. 4, novembre 2011.
- Balocco C., Marmonti E. "Il Gigante dal Buio" Luce, n.5, gennaio 2012