

# **IL RISCHIO SISMICO NEGLI STABILIMENTI ARIR: LE NOVITÀ INTRODOTTE DALLA “SEVESO III”**

**Villani A., Mogorovich D., Marotta F., Mossa Verre M.  
ARPAT, Via Vittorio Veneto 27, Pisa, 56127, Italia**

## **1.0 PREMESSA**

Numerosi terremoti violenti colpiscono varie aree del pianeta, con intensità a volte anche superiori a quelle previste per la progettazione delle strutture. Tra queste un'attenzione particolare meritano gli impianti industriali a rischio di incidente rilevante (ARIR), in quanto particolarmente esposti a causa del numero e della complessità delle strutture e dei componenti critici, con le più diverse caratteristiche dinamiche, strettamente interconnessi al fine del corretto funzionamento dell'impianto stesso. La progettazione e la verifica antisismica di sistemi così complessi richiede uno sforzo superiore rispetto a quello dei comuni edifici ed è di grande importanza per la possibilità che ha il sisma di causare incidenti rilevanti, in grado cioè di arrecare ingenti danni alle persone e all'ambiente circostante.

## **2.0 GENERALITÀ SUI TERREMOTI**

La Terra è un sistema dinamico ed in continua evoluzione, composto al suo interno da rocce disomogenee per pressione, temperatura, densità e caratteristiche dei materiali. Questa elevata disomogeneità interna provoca lo sviluppo di forze negli strati più superficiali, che tendono a riequilibrare il sistema, spingendo le masse rocciose le une contro le altre, deformandole.

Nel terremoto, le forti spinte che si sviluppano in seguito ai movimenti delle placche inducono un accumulo di sforzi e quindi di energia in profondità. Le rocce soggette a piccoli sforzi si deformano in modo elastico; se lo sforzo aumenta si fratturano. Quando gli sforzi in profondità superano il limite di resistenza della roccia, si verifica un rapido scorrimento delle parti di roccia a contatto lungo superfici di rottura (faglie) e la liberazione dell'energia accumulata, sotto forma di onde elastiche (onde sismiche). Il volume di roccia dove ha origine il terremoto è detto ipocentro. La sua proiezione in superficie è l'epicentro, ovvero l'area che, trovandosi più vicina all'origine del terremoto, subisce anche i maggiori effetti. Le scosse avvengono raramente in modo isolato, ma piuttosto si osservano sequenze sismiche che, di solito, sono caratteristiche per i territori considerati. In alcune aree si registrano eventi sismici frequenti ma di bassa energia, i cosiddetti “sciame sismici”. In altre, una scossa principale può essere preceduta (scossa premonitrice) e/o seguita da scosse di minore forza (repliche). In ogni caso, generalmente, dopo un terremoto importante ci si devono aspettare nuove scosse di minore energia.

## **2.1 ESEMPI DI INCIDENTI IN STABILIMENTI ARIR**

Per quanto concerne i serbatoi di stoccaggio, la più comune origine di danni è la rottura di connessioni corte di tubazioni (piping attachments), a causa della loro incapacità di accompagnare la rotazione o lo scivolamento dei serbatoi, durante i severi scuotimenti del terreno. Le figure sottostanti<sup>1</sup> mostrano la rottura di una tubazione rigida in un impianto petrolchimico, a seguito del terremoto di Landers (California) del 28.06.1992 di magnitudo 7.3.

---

<sup>1</sup> Tutte le figure sono tratte da Internet.



Un altro comune modo di danneggiamento in corrispondenza delle saldature base-mantello del serbatoio, che dà luogo a deformazioni a “piede di elefante”, è dovuto al sollevamento e successiva ricaduta del serbatoio.

La figura sottostante mostra il danneggiamento a “piede di elefante” di un serbatoio cilindrico, a seguito del terremoto di Loma Prieta (California) del 1989, di magnitudo 6.9.

Ribaltamento di serbatoio



Danni alla copertura di un serbatoio nel terremoto di Landers – California del 28/06/1992



### Raffineria TUPRAS di Izmit

#### Crollo ciminiera (115 m) forno Topping



➤ 63 tubazioni di prodotto ed utilities danneggiate



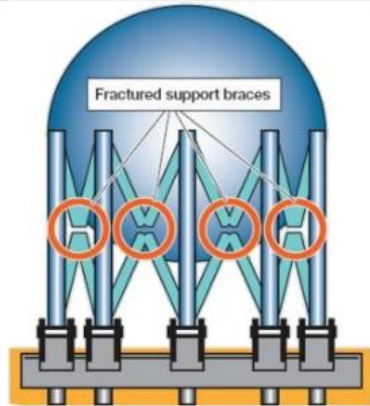
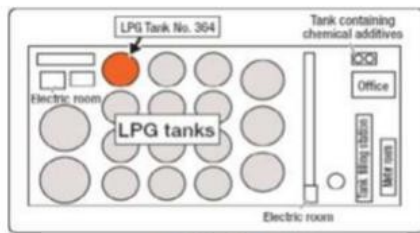


**Terremoto di Kocaeli (Turchia) del 1999; M = 7.4 - raffinerie Yarimca e Tupras**



**Sisma di Sendai - Giappone 11 marzo 2011 – Raffineria di Chiba della Cosmo Oil**

## Terremoto di Sendai 11 marzo 2011 – Raffineria di Chiba della Cosmo Oil



Il problema è legato all'interazione terreno-struttura ed al non scorrimento in senso orizzontale dei serbatoi e delle apparecchiature connesse contenenti sostanze pericolose, ai sensi del D. Lgs. 105/2015. In generale devono essere valutati la:

- Resistenza del terreno di fondazione
- Sicurezza nei confronti della liquefazione<sup>2</sup> del terreno di fondazione
- Stabilità delle strutture in elevazione (grandi contenitori, torri, etc.)
- Resistenza e funzionalità di componenti meccanici, elettrici ed elettronici
- Stabilità di strutture interrato e caverne

### 3.0 LE NOVITA' APPORTATE DALLA SEVESO III

La recente introduzione del D. Lgs. 26 giugno 2015 nr. 105, “*Seveso III*”, che recepisce la Direttiva 2012/18/UE<sup>3</sup> del 4 luglio 2012 sul controllo del pericolo di incidenti rilevanti connessi con sostanze pericolose rende più esplicita la necessità da parte dei gestori di stabilimenti ARIR di prendere in considerazione anche i rischi legati alla sismicità del sito, ove è dislocato il proprio stabilimento. In particolare alla Sezione G dell’Allegato 5<sup>4</sup>– *Informazioni generali sui pericoli indotti da perturbazioni geofisiche e meteorologiche* - è previsto che **i gestori debbano indicare le informazioni relativamente alla classe sismica del Comune di ubicazione e dei parametri sismici di riferimento per i 4 stati limite, come definiti dalle Norme Tecniche per la Costruzioni (NTC), di cui al Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 14.01.2008<sup>5</sup>.**

<sup>2</sup> Il fenomeno della liquefazione si manifesta sotto l'azione di carichi ciclici come quelli indotti da un sisma, quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento, cioè quando gli sforzi efficaci da cui dipende la resistenza al taglio si riducono a zero. Deve pertanto essere verificata la suscettibilità alla liquefazione nei casi in cui la falda freatica si trovi in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una modesta frazione fine limo argillosa. La possibilità del verificarsi di fenomeni di liquefazione nel terreno di fondazione, con conseguente perdita di capacità portante, è legata appunto alla presenza di terreni sabbiosi monogranulari saturi (sotto falda) di bassa densità relativa (sciolti); inoltre, l'entità è direttamente correlabile all'omogeneità granulometrica e decresce all'aumentare sia della frazione fine, annullandosi, sia alla presenza di argille che di ghiaie e ciottolami

<sup>3</sup> Pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea n. 197 del 24 luglio 2012

<sup>4</sup> Modulo di notifica e di informazione sui rischi di incidente rilevante per i cittadini ed i lavoratori di cui agli artt. 13 e 23

<sup>5</sup> Pubblicato nella G.U. n. 29 del 04 febbraio 2008 – Supplemento Ordinario n. 30

## SEZIONE G – INFORMAZIONI GENERALI SUI PERICOLI INDOTTI DA PERTURBAZIONI GEOFISICHE E METERELOGICHE

### INORMAZIONI SULLA SISMICITÀ:

#### Classe sismica del Comune:

Parametri sismici di riferimento calcolati al baricentro dello stabilimento relativi al suolo rigido e con superficie topografica orizzontale per i 4 stati limite:

Stati limite	Stati limite (PVr)			
	SLE		SLU	
	SLO	SLD	SLV	SLC
PVR	81%	63%	10%	5%
Tr (anni)	45	0.058	2.571	0.269
Ag [g]	75	0.071	2.550	0.277
Fo	712	0.168	2.443	0.289
Tc [s]	1462	0.209	2.452	0.296

Periodo di riferimento (Vr) in anni: 75

La Società ha eseguito uno studio volto ala verifica sismica degli impianti/strutture .....

La Società ha eseguito opere di adeguamento in esito allo studio di verifica sismica .....

Oltre a ciò, **il gestore ha l'obbligo di dichiarare l'effettuazione o meno di uno studio volto alla verifica sismica degli impianti/strutture e se, in seguito a ciò, abbia implementato opere di adeguamento**, valutandone l'efficacia.

### 3.1 CENNI ALLA NORMATIVA ANTISISMICA (DM 14 GENNAIO 2008)

Le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC (DM 14 gennaio 2008)) hanno modificato il precedente significato di classificazione sismica. In precedenza, per ciascun territorio comunale veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro elastico di risposta da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche. Attualmente per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento “propria” individuata sulla base delle coordinate geografiche dell’area di progetto ed in funzione della vita nominale dell’opera. Cioè il valore di pericolosità di base dovrebbe essere definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali (*microzonazione sismica*).

Le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l’incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l’opera;
- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- robustezza nei confronti di azioni eccezionali: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all’entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Il superamento di uno SLU ha carattere irreversibile e si definisce collasso. Il superamento di uno SLE può avere carattere reversibile o irreversibile. Per le opere esistenti è possibile fare riferimento a livelli di sicurezza diversi da quelli delle nuove opere ed è anche possibile considerare solo gli SLU.



Gli SLE sono lo Stato Limite di Operatività (SLO)<sup>6</sup> e lo Stato Limite di Danno (SLD)<sup>7</sup>, mentre gli SLU sono lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)<sup>8</sup> e lo Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)<sup>9</sup>.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella tabella:

**Tabella 3.2.I** – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Qualora la protezione nei confronti degli SLE sia di prioritaria importanza, i valori di PVR forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in 4 classi d'uso. Gli stabilimenti ARIR rientrano nelle classi III<sup>10</sup>, IV<sup>11</sup>. Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale per il coefficiente d'uso CU : Se  $V_R \leq 35$  anni si pone comunque  $V_R = 35$  anni.

<sup>6</sup> A seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi

<sup>7</sup> A seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature

<sup>8</sup> A seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali

<sup>9</sup> A seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali

<sup>10</sup> Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. **Industrie con attività pericolose per l'ambiente**. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso

<sup>11</sup> Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. **Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente**. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica

**Tabella 2.4.I** – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

**Tab. 2.4.II** – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$ 

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

#### 4.0 IL RISCHIO SISMICO NEGLI IMPIANTI INDUSTRIALI

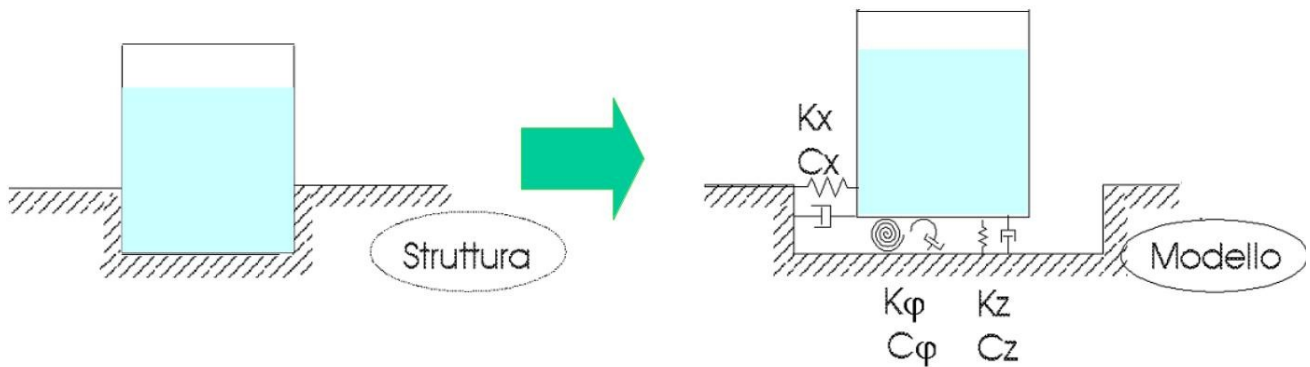
Le normative sismiche vigenti, studiate per lo più per le costruzioni civili, si pongono come obiettivo, in caso di sisma violento, di proteggere la vita umana evitando il crollo della costruzione, ma non di impedire che questa si danneggi, anzi è proprio grazie a questi danni che il manufatto riesce a dissipare l'energia provocata dall'azione sismica. Le norme per le costruzioni civili risultano quindi generalmente inadeguate per le strutture degli impianti industriali, per i quali un danneggiamento può comportare conseguenze anche gravi, in termini, ad esempio, di rilascio di sostanze pericolose.

Tra le cause che possono provocare incidenti rilevanti negli impianti industriali, l'azione sismica va considerata come una tra quelle potenzialmente più importanti. Infatti, a differenza dell'incidente casuale, che si può ritenere dovuto ad eventi indipendenti e, pertanto, ha una trascurabile probabilità che si verifichi simultaneamente in più apparati (e da cui ci si può spesso cautelare, mediante ridondanza dei dispositivi di sicurezza), il terremoto, rende altamente probabile che i danni si verifichino simultaneamente in più punti dell'impianto; in questo modo gli effetti possono risultare amplificati, per esempio a causa del mancato funzionamento dei sistemi di sicurezza.

Un terremoto può produrre su di un impianto danni analoghi a quelli che si registrano, p. es. negli edifici, oltre alla possibile perdita di vite umane in conseguenza di crolli; oltre a questi, si devono mettere in conto le conseguenze indirette sull'ambiente, e quindi sulle persone, a seguito di scoppi, incendi, rilascio di sostanze tossiche, ecc., che si possono produrre a causa dei danni causati dal terremoto. Tra le varie lavorazioni industriali, quelle dell'industria chimica, nei termini indicati sopra, appaiono potenzialmente ad elevato rischio.

#### 4.1 CENNI ALLA MODELLAZIONE DEGLI EVENTI SISMICI

Il moto sismico in un punto del terreno ha componenti secondo tutti e sei i gradi di libertà, tre di traslazione e tre di rotazione. Nella pratica i moti sismici di riferimento si riducono all'oscillazione di traslazione orizzontale e verticale. Il moto di riferimento viene caratterizzato da un'accelerazione massima del terreno in direzione orizzontale e da un'accelerazione massima verticale assunta pari ad una frazione (50%, 70%) di quella orizzontale.



Lo spettro di risposta di un terremoto è il diagramma della risposta (in accelerazione, velocità o spostamento massimo) di un oscillatore elastico semplice, caratterizzato da una frequenza propria di oscillazione e da uno smorzamento. È funzione:

- del tempo di ritorno <sup>12</sup>
- dello stato limite considerato
- del tipo di terreno

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;

$F_o$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

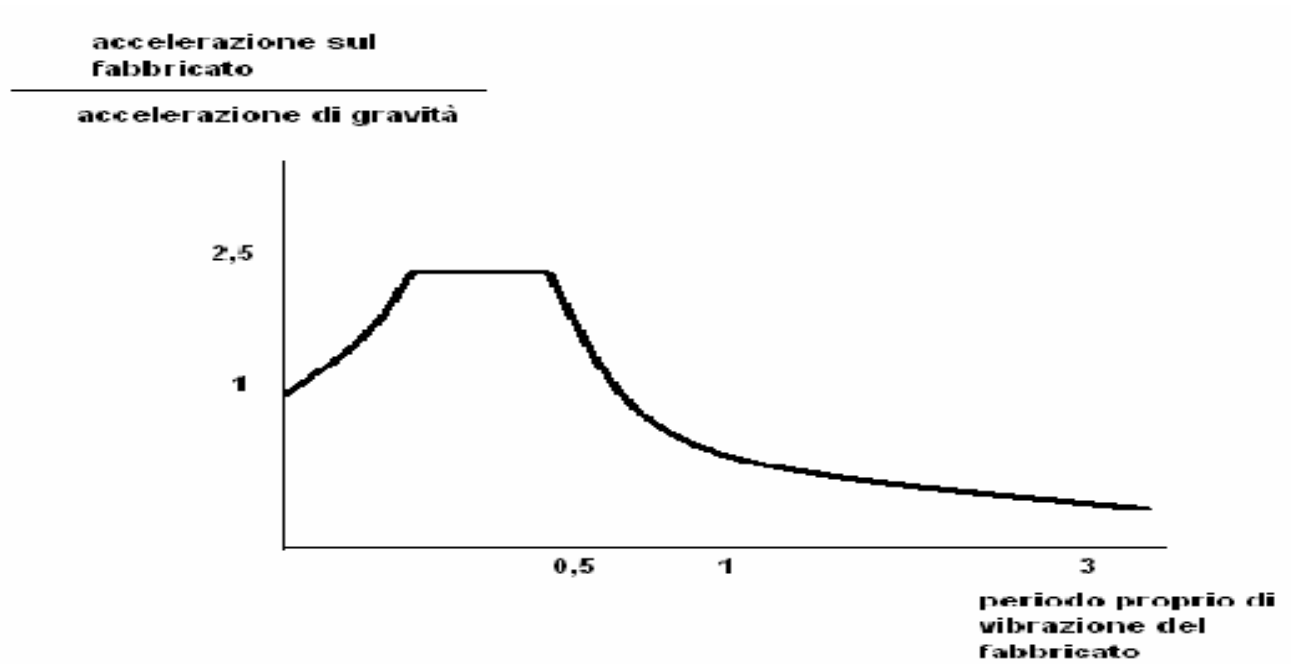
$T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alla norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Il periodo proprio di vibrazione della struttura determina quanto e in che modo lo spostamento del terreno coinvolge la costruzione. Le norme tecniche forniscono, per ogni zona e tipo di terreno, spettri elastici che, noto il periodo proprio di vibrazione della specifica costruzione, consentono di individuare quel probabile valore di accelerazione inerziale che ne attiva le masse, originando l'azione sismica sulla stessa.

<sup>12</sup> Il tempo (periodo) di ritorno di un evento è il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un valore di assegnata intensità ovvero, è il tempo medio in cui un valore di intensità assegnata viene raggiunto o superato almeno una volta





#### 4.2 IL RISCHIO SISMICO NEGLI STABILIMENTI ARIR

L'analisi del rischio sismico di un impianto e la scelta delle soluzioni più efficienti per la sua riduzione non possono essere limitate allo studio di singoli componenti e strutture, a causa delle interazioni tra essi: infatti i componenti sono dotati di strutture di sostegno e sono tra loro connessi da sistemi di tubazioni, a sua volta dotati di strutture di sostegno. Ad una prima analisi della risposta sismica di un impianto, proprio le tubazioni appaiono come un possibile elemento vulnerabile: infatti esse collegano apparecchiature diverse, che possono avere una diversa risposta al sisma, ed il loro percorso interessa un certo numero di sostegni, con proprie caratteristiche di vibrazione. Inoltre buona parte delle connessioni tra tubazioni e tubazioni e tra tubazioni ed apparecchiature sono realizzate per flangiatura, per cui anche modesti disassamenti delle due estremità delle flange possono portare a perdite. **L'effettuazione di un'analisi del rischio legato al rilascio di sostanze pericolose in un impianto di processo a seguito di un sisma, richiede di valutare le frequenze di accadimento e le possibili conseguenze degli eventi (o scenari) incidentali da esso innescati.** Per quanto riguarda le conseguenze, il caso non presenta apparentemente sostanziali differenze rispetto ad una tradizionale analisi del rischio legato ad eventi incidentali innescati da altre cause (guasti, rotture, ecc.). Si tratta infatti di caratterizzare lo scenario incidentale che origina la perdita di contenimento, valutare le dimensioni del foro di uscita, l'entità e le modalità di fuoriuscita del prodotto, la dispersione nell'ambiente, l'eventuale innesco, se trattasi di un prodotto infiammabile, e l'estensione delle zone di danno. Il problema si complica perché un sisma, a differenza dei classici eventi incidentali, è in grado di originare una moltitudine di sorgenti di danno contemporanee e catene di effetti domino difficilmente prevedibili. Anche la valutazione delle frequenze attese per lo scenario incidentale risulta, nel caso di eventi originati da un sisma, decisamente complessa, a causa della concatenazione di eventi che può portare allo scenario considerato. Inoltre, il ricorso all'analisi di dati storici per la stima delle frequenze incidentali, che costituisce l'approccio spesso adottato per gli scenari tradizionali dell'industria di processo è applicabile solo in parte, data la scarsa disponibilità di informazioni per eventi che sono, in termini assoluti, piuttosto rari.

Nella maggior parte dei casi l'impiantistica che costituisce l'industria di processo è caratterizzata da strutture prevalentemente metalliche, dotate di elasticità intrinseca, supportate da fondazioni in calcestruzzo armato. In particolare è possibile distinguere tre macrocategorie:

➤ **Unità operative di processo:** sono quelle in cui avvengono le trasformazioni chimiche e chimico-fisiche della materia, soggette quindi a corrispondenti condizioni di pressione e temperatura particolari. Sono generalmente costituite da strutture metalliche di forma semplice a snella, raramente presentano masse considerevoli.

➤ **Unità di stoccaggio:** sono prevalentemente metalliche ma caratterizzate da limitata snellezza e da massa elevata e concentrata, determinata in massima parte dal contenuto di materiale immagazzinato. Le apparecchiature maggiormente sensibili al rischio sismico sono quelle destinate all'immagazzinamento di prodotti liquidi, perché all'azione diretta del sisma sull'involucro si unisce l'effetto dinamico sviluppato dall'ondeggiamento (sloshing) del liquido contenuto, che costituisce una massa impulsiva di notevole intensità. Tale effetto invece è molto minore sia nel caso dei materiali stoccati allo stato solido, i quali hanno mobilità inferiore, sia per quelli allo stato gassoso a causa della loro modestissima massa.

➤ **Tubazioni:** hanno il compito di convogliare i materiali oggetto di lavorazione da un'unità all'altra dell'impianto. Generalmente sono formate da tubazioni metalliche che rappresentano la componente più semplice ed elastica dell'impianto. In realtà a causa dei numerosi elementi di sostegno, del raggruppamento in fasci comuni e degli elementi necessari per far fronte a dilatazioni o contrazioni termiche, sono presenti una serie di vincoli che le rendono un elemento multi iperstatico. Le tubazioni sono talvolta soggette, per ragioni di esercizio, a fenomeni vibratori, i quali combinati con un possibile evento sismico possono generare fenomeni di risonanza e conseguenti sollecitazioni anomale eccedenti la resistenza del materiale da costruzione. Per alcune peculiari finalità (reti fognarie, convogliamento di fluidi corrosivi e simili) le tubazioni sono realizzate con materiali non malleabili, quali ghisa, ceramiche, cemento, su cui le sollecitazioni sismiche quasi sempre provocano fratture.

### 4.3 UN ESEMPIO: LA NORMA UNI EN 1473 <sup>13</sup>

In Toscana è stata utilizzata per gli impianti di rigassificazione GNL di EDISON e, per analogia ove applicabile, di OLT. Riporta alcune definizioni:

1. Un sisma è dato dalle accelerazioni orizzontali e verticali del suolo. Tali accelerazioni sono caratterizzate:

- dal loro spettro di frequenze;
- dalla loro ampiezza.

Lo spettro di frequenza descrive come le accelerazioni del moto sismico siano distribuite tra le varie frequenze. E' un parametro fondamentale perché la risposta dinamica delle strutture dipende, oltre che dall'entità dei carichi applicati, dalle relative frequenze, in relazione alle proprie frequenze naturali (modi propri di vibrazione).

Deve essere condotta un'analisi sismica specifica sul sito (MICROZONAZIONE SISMICA). Questa analisi deve essere oggetto di una relazione sismica che tenga conto delle caratteristiche geologiche e sismiche, della collocazione delle installazioni di GNL e della regione circostante oltre che delle informazioni geotettoniche sul luogo. In conclusione, **la relazione deve definire tutti i parametri sismici richiesti per la progettazione.**

In particolare il dimensionamento dei serbatoi deve prevedere:

- Azione dinamica della massa liquida sul serbatoio.
- Percentuale di smorzamento in relazione all'effettiva caratteristica del suolo.
- Calcolo dell'altezza dell'onda alla superficie del liquido per determinare il franco di sicurezza;
- Calcolo delle sollecitazioni di taglio tangenziali nel serbatoio;

---

<sup>13</sup> Installazioni ed equipaggiamenti per il gas naturale liquefatto (GNL) - Progettazione delle installazioni di terra

- Calcolo delle sollecitazioni di trazione verticali sulla base del serbatoio (per il dimensionamento dell'ancoraggio sulla soletta);
- Calcolo delle sollecitazioni di compressione verticali sulla base del serbatoio (per la verifica di resistenza all'instabilità);
- Calcolo del momento di ribaltamento, comprendente gli effetti di pressioni dinamiche sul fondo.

## 5.0 INTRODUZIONE ALLE MISURE DI MITIGAZIONE

Gli impianti chimici, petrolchimici e le centrali nucleari, sono strutture estremamente complesse, formate da numerosissimi componenti con le più diverse caratteristiche dinamiche, strettamente interconnessi al fine del corretto funzionamento dell'impianto stesso. La progettazione e la verifica antisismica di sistemi così complessi richiede uno sforzo superiore rispetto a quello dei comuni edifici, anche a causa della possibilità di incidenti rilevanti.

### 5.1 L'ISOLAMENTO SISMICO

L'isolamento sismico, con la sua capacità di abbattere significativamente le accelerazioni orizzontali e di rendere uniforme il moto della sovrastruttura durante il terremoto, è certamente una tecnologia molto attrattiva per questo tipo di impianti. Fra l'altro, l'isolamento sismico consente di standardizzare il progetto, rendendolo praticamente indipendente dal sito di costruzione e replicabile, quindi, in tutte le parti del mondo.

Dal punto di vista strettamente tecnico, lo svantaggio dell'isolamento sismico è principalmente dato dallo spostamento relativo tra la parte isolata ed il terreno e la conseguente necessità di prevedere un opportuno gap fra le due parti. Negli impianti industriali, il gap sismico è spesso attraversato da reti impiantistiche, in particolare tubazioni, contenenti fluidi infiammabili o pericolosi, spesso anche in temperatura e pressione. Per limitare questo problema, per il quale sono comunque già disponibili ad esempio giunti di dilatazione, conviene estendere il più possibile la zona isolata. Mentre in una centrale nucleare è facile riconoscere un'isola contenente tutti i componenti critici ai fini della sicurezza, in un impianto petrolchimico, che è estremamente vasto, occorre isolare i singoli componenti critici (in genere serbatoi). Numerosi progetti di ricerca e decine di applicazione in casi reali, hanno ormai dimostrato non solo che l'isolamento sismico è una tecnica ormai matura per una vasta diffusione in ogni tipo di impianto, ma che anche il bilancio economico, qualora correttamente eseguito, è certamente positivo.

Di seguito si riportano alcuni esempi di **sistemi di isolamento sismico di tipo statico e dinamico**.



### 5.1.1 SISTEMI STATICI DI ISOLAMENTO SISMICO

Di seguito si riportano alcuni esempi di sistemi di isolamento statico adottati presso impianti (serbatoi contenenti liquidi, gas compressi, tubazioni, ecc.) presenti in stabilimenti ARIR, estratti dalla letteratura <sup>(a) (b) (c) (d) (e) (f) (g)</sup> che offre molteplici possibilità al riguardo.

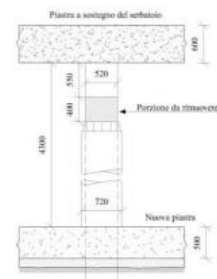


Alcuni dei 360 isolatori HDRB, di 700 mm di diametro, installati in uno dei 3 serbatoi LNG costruiti nella Provincia di Guangdong, nella Cina Meridionale (tali serbatoi hanno 84 m di diametro, 39 m d'altezza e pesano, quando pieni, 140.000 t)

Uno dei 3 serbatoi della società Polimeri Europa (Gruppo ENI), che furono adeguati sismicamente a Priolo Gargallo (Siracusa) con isolatori sismici *Friction Pendulum System (FPS)*, di produzione statunitense, negli anni 2005-2008



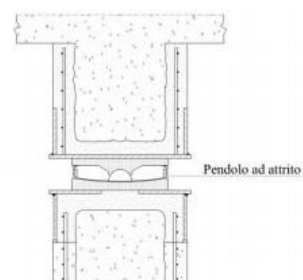
Ripresa fotografica nel corso dei lavori



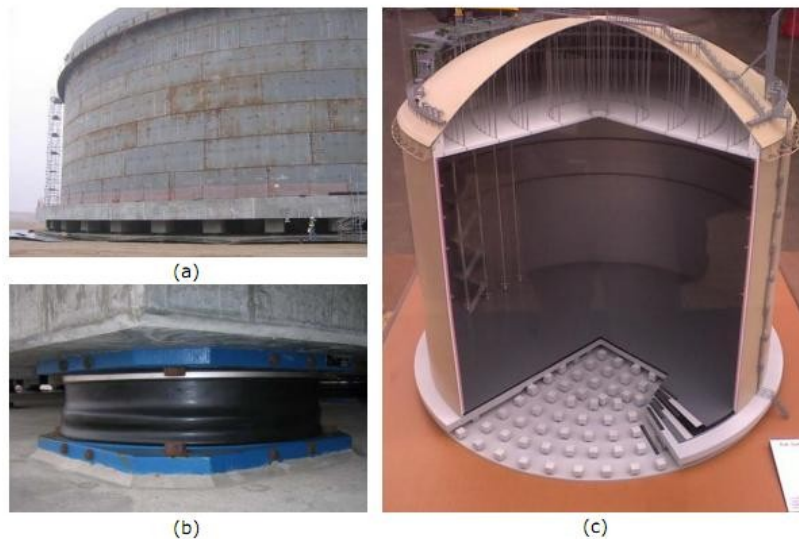
Interventi di adeguamento delle strutture in c.a. del serbatoio DA 1420



Asportazione dei conci dei pilastri



Inserimento del pendolo ad attrito



*Pampa Melchorita (Perù): (a) uno dei due serbatoi per lo stoccaggio di LNG da 130.000 m<sup>3</sup> sismicamente isolato con (b) tripli pendoli a scorrimento; (c) modello del serbatoio*

### 5.1.2 SISTEMI DINAMICI DI ISOLAMENTO SISMICO: L'IMPIANTO CHE LEVITA

Un esempio di tecnologia che proviene dal Giappone, tanto semplice quanto potenzialmente rivoluzionaria, si basa sull'idea di prevedere un sensore sotto le fondamenta di un edificio che, quando percepisce una scossa, determina il pompaggio di aria in sacche poste ai due lati dell'edificio (vedasi Video sul sito <http://www.6aprile.it/media/video/2012/05/31/video-dal-giappone-contro-il-terremoto-la-casa-che-levita.html>), provocando un innalzamento dello stesso di 3 centimetri, in un tempo stimabile da 0,5 a 1 secondo. Come si vede dal video un semplice bicchier d'acqua appoggiato su un tavolo rimane praticamente immobile, durante la simulazione dell'evento sismico, ovvero tale sistema è in grado di non innescare il fenomeno dello sloshing del liquido contenuto in serbatoi.. Nel caso in cui il sisma danneggi il sistema energetico, uno di emergenza, garantirà il funzionamento della tecnologia. Ciò sarebbe sufficiente, secondo l'ideatore di tale sistema, a minimizzare i danni di un terremoto di piccole dimensioni.

Una tecnologia simile di tipo low cost confrontata con altre atte a mitigare le conseguenze derivanti dai sismi, richiede facile manutenzione e adattabile a vari tipi di edifici, tra cui capannoni e industrie.

### 5.2 ESEMPIO DI VERIFICA SISMICA DI UN SERBATOIO VERTICALE, CONTENENTE UN GAS COMPRESSO LIQUEFATTO

In seguito si riporta la verifica sismica di un serbatoio di azoto, recentemente installato all'interno di uno stabilimento chimico in provincia di Pisa. Tale serbatoio realizzato in doppia struttura ovvero un'unità interna ed una esterna, è stato posizionato su fondazione in cemento armato tramite tre gambe in acciaio, collegate mediante tirafondi.

In fase progettuale i parametri esaminati sono:

- Vita nominale fissata in  $V_N = 35$  anni;
- Classe d'uso II;
- Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_R = 35$  anni

La categoria topografica del sito è di tipo T1, da cui<sup>14</sup> si ricava il coefficiente di amplificazione topografica pari a  $S_T = 1,0$ .

Il piano di manutenzione è complementare al progetto strutturale al fine di mantenere nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità e l'efficienza della struttura. Le caratteristiche morfologiche e sismiche sono estratte dalle tabelle sulle NTC. Nelle tabelle seguenti si riportano i dati utilizzati:

#### Dati Geometrici Serbatoio

Diametro Serbatoio Esterno	De=	2334	mm
Altezza totale	Ht	17950	mm
Altezza serbatoio	Hs	12350	mm
Altezza serbatoio da terra		500	mm
Altezza Cupolino sfiato		100	mm
Peso serbatoio vuoto	Pvuoto	14000	daN
Volume	Vol=	30000	L
Liquido da utilizzare		Azoto	
Densità	$\rho$ =	809	daN/m <sup>3</sup>
Peso serbatoio pieno	Ppieno	38270	daN

#### Gambe Tank:

Numero	Ng=	3	
Sezione	Sg=	121	cm <sup>2</sup>
Inerzia	Ig=	12380	cm <sup>4</sup>
Modulo resistente	Mg=	463	cm <sup>3</sup>
Lunghezza resistente	Lr=	638	mm

#### Materiali:

Serbatoio Esterno	S275
Gambe Serbatoio Esterno	S275
Serbatoio interno	AISI 304/304L
Supporti Serbatoio interno	AISI 304/304L
Tiranti	classe 8,8

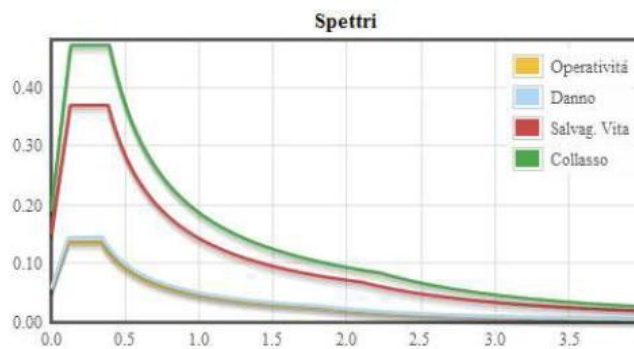
L'azione sismica è applicata alla struttura in conformità alle disposizioni delle NTC:

<sup>14</sup> Tabella 3.2.VI del DM 14.01.2008 e s.m.i.



Localita'	Saline di Volterra (PI)
Vita nominale	35 anni
Classe d'uso	II
Vita di riferimento	35 anni
Categoria del suolo	B
Coefficiente topografico	T1=1,00
Tempo di ritorno del sisma	332 anni
Coordinate del sito Sistema di riferimento ED50	Lat. = 43,359066 Long. = 10,819717
Coefficiente di smorzamento	5%
Fattore di struttura considerato	q = 1,00

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0,046	2,467	0,230
Danno (SLD)	35	0,049	2,476	0,234
Salvaguardia vita (SLV)	332	0,124	2,481	0,269
Prevenzione collasso (SLC)	682	0,157	2,503	0,277



L'azione sismica allo SLU è rappresentata dallo spettro di risposta sopra descritto. Di seguito si calcolano le frequenze sismiche del serbatoio ed i parametri della sollecitazione dovuta al sisma.

<b>Modo Impulsivo</b>		
<b>Ipotesi di colonna</b>		
Modulo di Young	E=	195000 Mpa
Sezione di Inerzia	I=	6135712 cm <sup>4</sup>
Baricentro	z=	6675 mm
Frequenza in Operazione (serbatoio Pieno)	Fcol=	8,938 Hz
	Tcol=	0,112 s
Frequenza in Erezione (serbatoio vuoto)	Fcol=	14,777 Hz
	Tcol=	0,068 s
<b>Modo Convettivo</b>		
Frequenza del Liquido	Fliq=	0,446 Hz
	Tliq=	2,241 s

<b>Accelerazione Orizzontale</b>		
Modo Impulsivo	Shi =(SLV)	3,346 m/s <sup>2</sup>
Modo Convettivo	Shc =(SLV)	0,581 m/s <sup>2</sup>

<b>Accelerazione Verticale</b>		
Modo Impulsivo	Svi =(SLV)	1,590 m/s <sup>2</sup>
Modo Convettivo	Svc =(SLV)	0,276 m/s <sup>2</sup>
Press. Fluidodinamica	Pf =(SLV)	121,54 mbar

<b>Forze Serbatoio Esterno</b>		
Azione orizzontale	QoH =(SLV)	120.258,61 N
Azione Verticale	QoV =(SLV)	57.513,61 N
Momento Ribaltante	Mo =(SLV)	802.726,20 N

Taglio alla base dovuto al sisma: 12.025,86 daN

Sforzo normale sulle gambe dovuto al momento flettente da sisma: 46.534,85 daN

Ai fini della verifica da effettuare, in conformità alle NTC, le seguenti combinazioni delle azioni agenti sul serbatoio (peso elementi strutturali e non, liquido, azioni vento, sisma):

- Combinazione Fondamentale Statica (SLU)
  - Comb 1:  $\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2}$
  - Comb 2:  $\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{Q2}Q_{k2} + \gamma_{Q1}\psi_{01}Q_{k1}$
- Combinazione Caratteristica Rara (SLE)
  - Comb 3:  $G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02}Q_{k2}$
  - Comb 4:  $G_1 + G_2 + Q_{k2} + \psi_{01}Q_{k1}$
- Combinazione Sismica (SLV)
  - Comb 5:  $E + G_1 + G_2 + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2}$

Dove:

$G_1$  sono i pesi degli elementi strutturali;

$G_2$  sono i pesi degli elementi non strutturali permanenti;

$Q_{k1}$  sono le azioni variabili (nel nostro caso peso del liquido – categoria E);

$Q_{k2}$  sono le azioni variabili (nel nostro caso azioni da vento);

$E$  sono le azioni sismiche;

$\gamma_{G1} = \gamma_{G2} = 1,3$ ;

$\gamma_{Q1} = \gamma_{Q2} = 1,5$ ;

$\psi_{01} = 0,0$  (liquido) a vantaggio di sicurezza;

$\psi_{02} = 0,6$  (vento);

$\psi_{21} = 0,8$  (peso liquido – categoria E);

$\psi_{22} = 0$  (vento).

La verifica finale sulle tre gambe di appoggio, usando la Combinazione Sismica (SLV), porta al risultato  $\sigma_{soll} / \sigma_{crit} = 0,40 < 1$ .

## 6.0 CONCLUSIONI

La recente introduzione della “Seveso III” rende più esplicita la necessità, da parte dei gestori di stabilimenti ARIR, di prendere in considerazione anche i rischi legati alla sismicità del sito, ove è dislocato il proprio stabilimento. In particolare alla Sezione G dell’Allegato 5 è previsto che i gestori debbano indicare le informazioni relativamente alla classe sismica del Comune di ubicazione e dei parametri sismici di riferimento per i 4 stati limite, come definiti dalle NTC del 14.01.2008.

In sintesi devono essere presi in esame il comportamento dei serbatoi e delle tubazioni a sollecitazioni dinamiche di tipo sismico. L’assenza di stima delle conseguenze incidentali dovute al sisma deve essere supportata da una verifica sismica (statica e dinamica) sui componenti critici dell’impianto, compresi quelli che possono diventarlo a seguito di crollo (torri, camini, etc.). In caso contrario devono essere introdotti eventi incidentali conseguenti al sisma, con la stima anche delle relative frequenze. Per gli stabilimenti ARIR possono rendersi necessarie tecniche antisismiche, quali ad esempio l’isolamento sismico (adottato ad esempio in Abruzzo sulle nuove abitazioni realizzate dopo il terremoto del 2009), in grado di fornire una protezione completa, anche in caso di eventi estremi, superiori a quelli di progetto.

Da ora in poi, i vari funzionari incaricati delle verifiche ispettive presso gli stabilimenti ARIR possono chiedere informazioni in merito al fatto se il gestore abbia effettuato o meno uno studio volto alla verifica sismica degli impianti/strutture e se, in seguito a ciò, abbia implementato opere di adeguamento, valutandone l’efficacia.



## **RIFERIMENTI**

- (a) Alexander Avihu COHEN, Yaron OFFIR, Anat TZUR, Alex SHOHAT and Amos SHIRAN (2008). *MULTIDISCIPLINARY EFFORTS IN SEISMIC RISK ASSESSMENT AND RETROFITTING OF EXISTING FACILITIES CONTAINING HAZARDOUS MATERIALS*
- (b) F. Paolacci, R. Giannini a, M. De Angelis (2013). *Seismic response mitigation of chemical plant components by passive control techniques*
- (c) Fabrizio Paolacci<sup>1</sup>, Hoang N. Phan<sup>1</sup>, Daniele Corritore<sup>1</sup>, Silvia Alessandri<sup>1</sup>, Oreste S., Bursi<sup>2</sup>, M. Shahin Reza (2015). *SEISMIC FRAGILITY ANALYSIS OF STEEL STORAGE TANKS*
- (d) Fabrizio PAOLACCI, Renato GIANNINI, Eren UCKAN, Bulent AKBAS, Daniele CORRITORE (2015). *Seismic response mitigation of elevated tanks by HDRB and FPS isolation systems*
- (e) Oreste S. Bursi, Fabrizio Paolacci, Md Shahin Reza (2015). *SEISMIC PERFORMANCE ASSESSMENT OF OIL & GAS PIPING SYSTEMS THROUGH NONLINEAR ANALYSIS*
- (f) A. Martelli (2011). *SEISMIC SAFETY OF HIGH RISK PLANTS*
- (g) Oreste S. Bursi, Md S. Reza, Giuseppe Abbiati, Fabrizio Paolacci (2014). *Performance-based earthquake evaluation of a full-scale petrochemical piping system*