



Valutazione e gestione del rischio negli insediamenti civili ed industriali - VGR 2016 -

Il rischio sismico negli stabilimenti ARIR: le novità introdotte dalla "Seveso III"

**Analisi di rischio degli eventi Na-Tech
(Natural -Technological) dovuti a terremoto**

*"Incidenti tecnologici - come incendi, esplosioni e rilasci tossici - che possono verificarsi all'interno di complessi industriali e lungo le reti di distribuzione a seguito di eventi calamitosi di matrice naturale"
(Clerc e Le Claire, 1994; Lindell e Perry, 1996; Menoni, 1997)*

**Roma, Istituto Superiore Antincendi: 13-15 settembre 2016
Ingg. F. Marotta, D. Mogorovich, A. Villani, M. Mossa Verre**



Alcune considerazioni introduttive

Definizioni

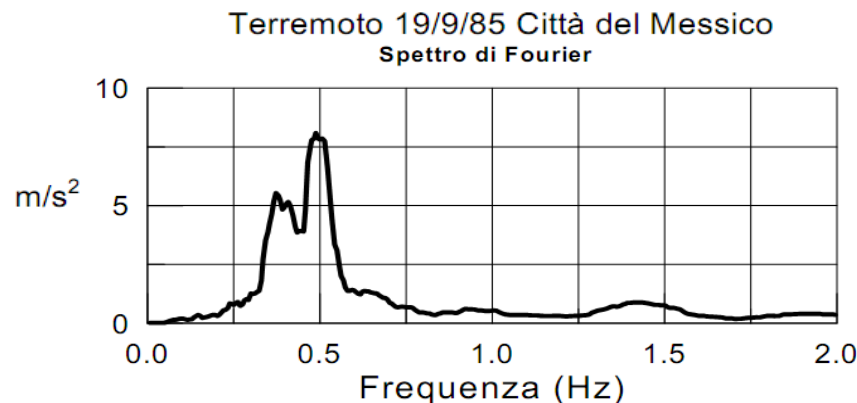
- Un sisma è definito dalle accelerazioni orizzontali e verticali del suolo
- Tali accelerazioni sono caratterizzate:
 - dal loro spettro di frequenze
 - dalla loro ampiezza

Cosa è lo spettro di frequenze?





- Lo spettro di frequenza descrive come le accelerazioni del moto sismico siano distribuite tra le varie frequenze



A cosa serve?

- 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)



Alcune considerazioni introduttive

Registrazione sisma del 20 maggio 2012

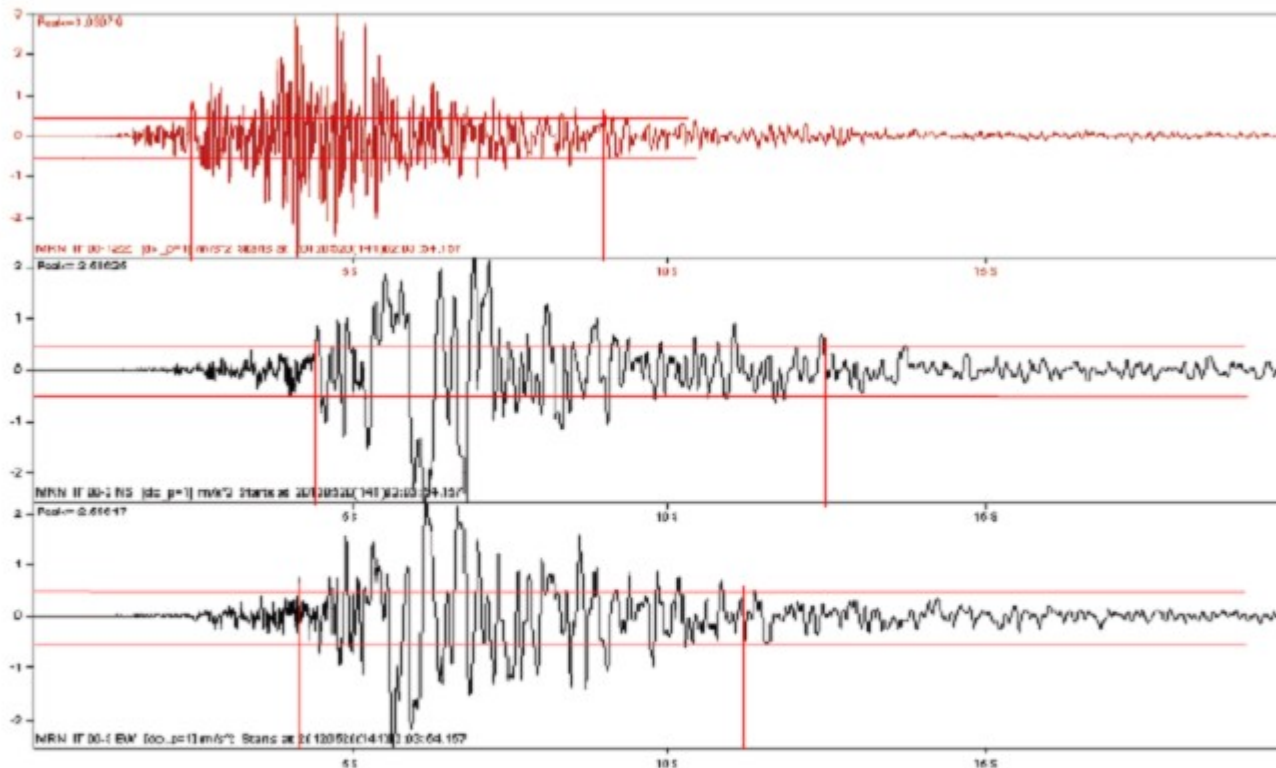


Figura 3 – Registrazioni delle tre componenti, Up-Down, Nord-Sud ed Est-Ovest, dell'accelerazione (in m/s^2) in corrispondenza della stazione di Mirandola durante l'evento I1 (vedi Tabella1) (www.ingv.it).



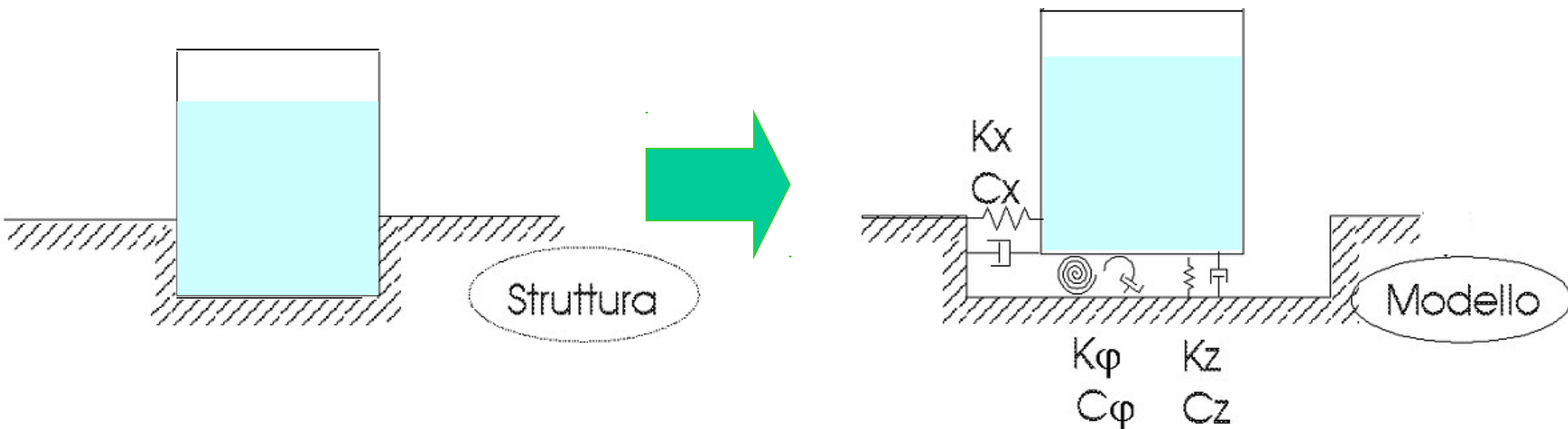
Alcune considerazioni introduttive

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 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

Si utilizzano modelli





Alcune considerazioni introduttive

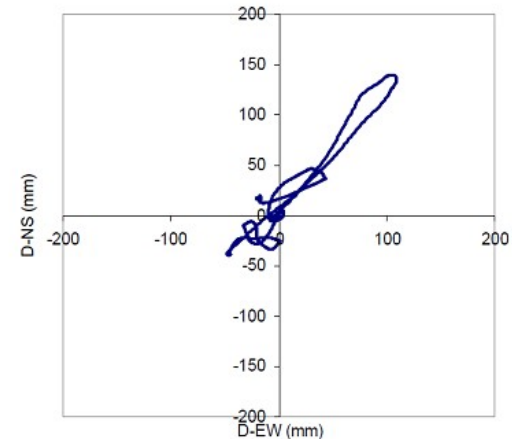
Il **moto sismico** in un punto del terreno ha componenti secondo tutti e sei i gradi di libertà, tre di traslazione e tre di rotazione

Figura 2-2. Graffio lasciato sul pavimento da un'apparecchiatura di cucina nel terremoto a Long Beach, in California, nel 1933. [Ristampato in forma ridisegnata, per concessione della Princeton University Press, da: Nicholas Hunter Heck, *Earthquakes* (Princeton, New Jersey: Princeton University Press 1936, 1964). Disegno originale di W.L. Luxton].



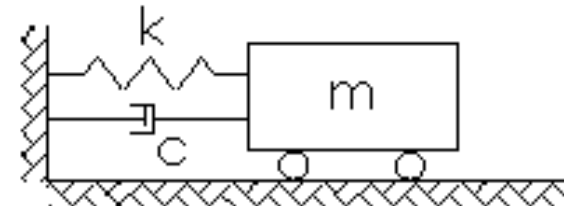
Nella pratica i moti sismici di riferimento si riducono all'oscillazione di traslazione orizzontale e verticale.

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



Spostamento relativo delle piastre di ancoraggio di un isolatore

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



$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -a_g(t) \cdot m$$

Oscillatore elastico semplice ad un grado di libertà



Alcune considerazioni introduttive

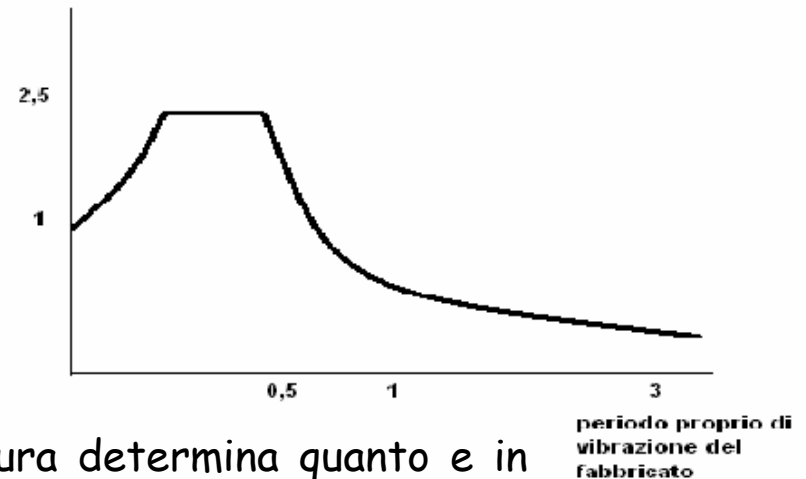
Spettro di risposta elastico

È funzione:

- del **tempo di ritorno** (*)
- dello **stato limite** considerato
- del **tipo di terreno**

accelerazione sul
fabbricato

accelerazione di gravità



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

(*) 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



Alcune considerazioni introduttive

DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Scelta di uno Stato Limite come probabilità che si verifichi un evento sismico di una prefissata intensità **durante la vita di riferimento** della costruzione.

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

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

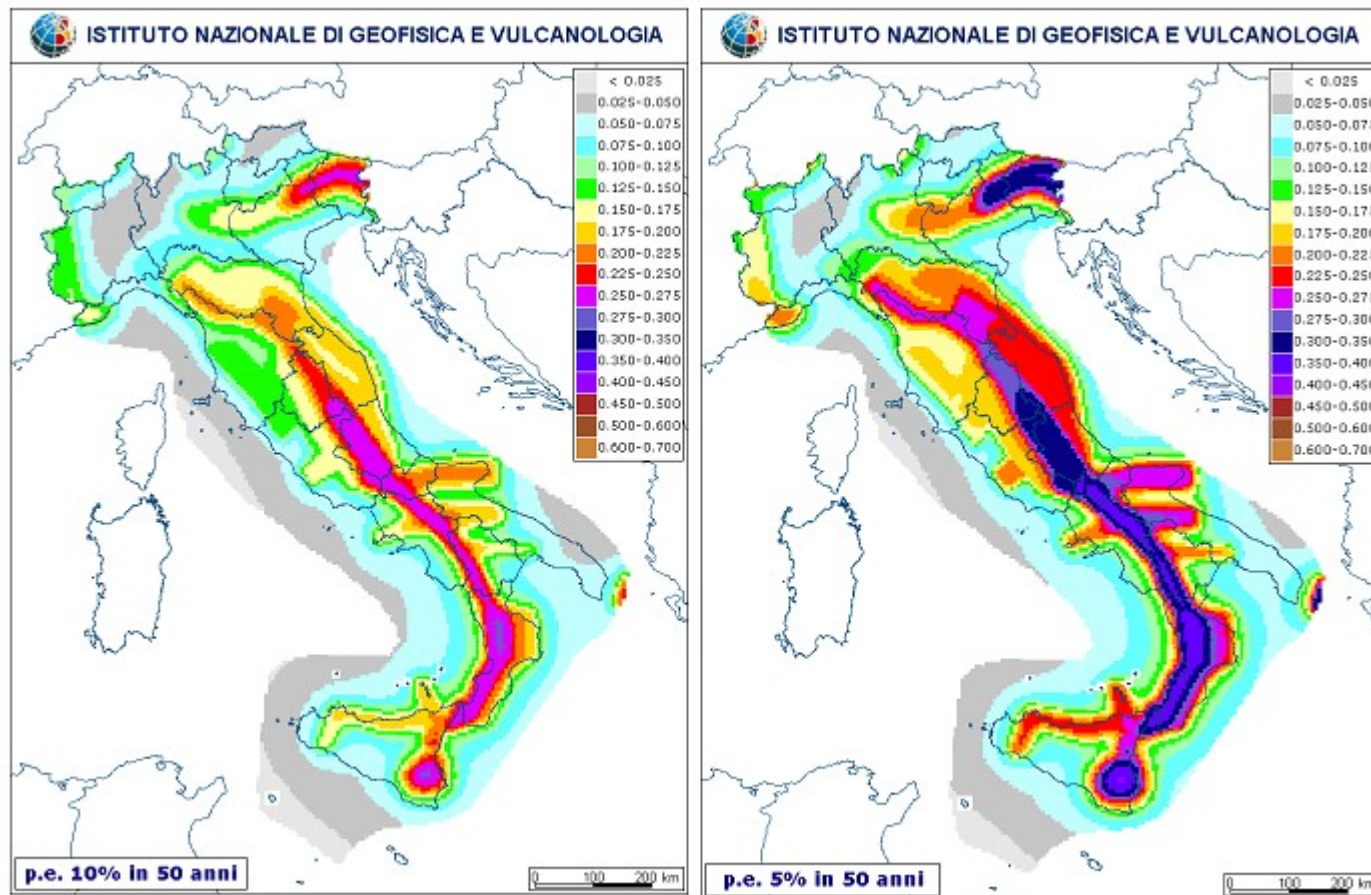
Periodo di ritorno T_R del sisma corrispondente allo stato limite scelto:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{Vr})}$$



Alcune considerazioni introduttive

DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA



$T_R = 475$ anni

$T_R = 975$ anni



Rassegna di recenti incidenti in impianti RIR, causati dal sisma

Effetti sui serbatoi

La più comune origine di danni sui serbatoi a causa di un sisma è la rottura di connessioni corte di tubature (piping attachments), a causa della loro incapacità di accompagnare la rotazione o lo scivolamento dei serbatoi durante i severi scuotimenti del terreno.

La figura sottostante mostra 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.



Figura 4 – Rottura tubazione

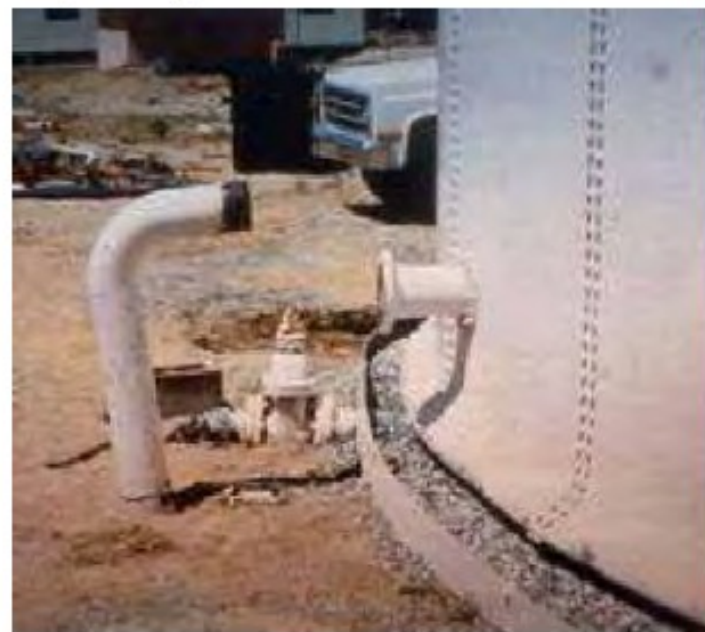


Figura 5 – Rottura tubazione



Rassegna di recenti incidenti in impianti RIR, causati dal sisma

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





Rassegna di recenti incidenti in impianti RIR, causati dal sisma

Terremoto di Kocaeli – 17 Agosto 1999 Raffineria TUPRAS di Izmit

Crollo ciminiera (115 m) forno Topping



- **63** tubazioni di prodotto ed utilities danneggiate



Rassegna di recenti incidenti in impianti RIR, causati dal sisma

Esiti dell'indagine

Incendio Topping (impossibilità di intercettare l'alimentazione per inoperabilità valvole di shut-off)





Rassegna di recenti incidenti in impianti RIR, causati dal sisma

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



Raffineria TUPRAS di Ismit –



Rassegna di recenti incidenti in impianti RIR, causati dal sisma

Giappone



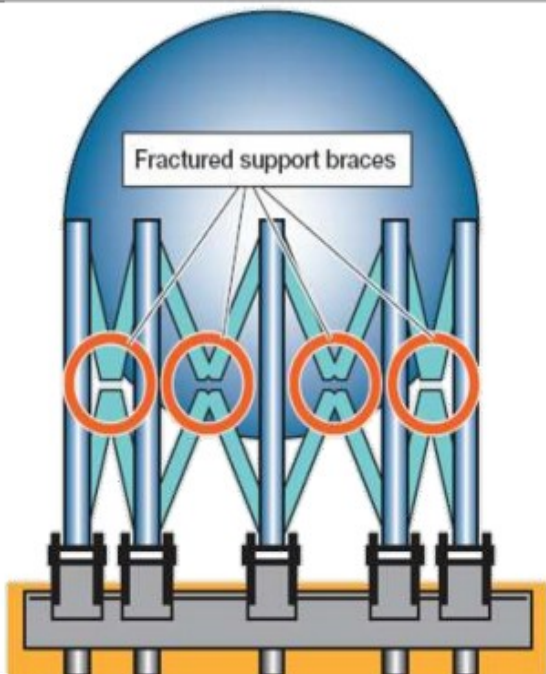
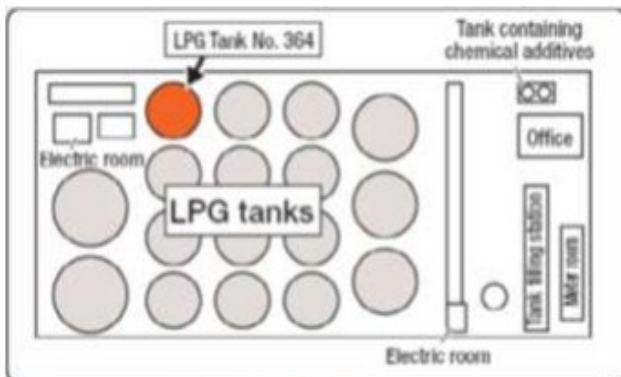
Sisma di Sendai - Giappone

11 marzo 2011 – Raffineria di Chiba della Cosmo Oil



Rassegna di recenti incidenti in impianti RIR, causati dal sisma

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





Il rischio sismico negli stabilimenti ARIR

- crolli di piping
- danneggiamento del tetto di circa il 70% dei serbatoi (dovuto a sloshing)
- importanti effetti domino generati dall'incendio di serbatoi
- la mancanza di energia elettrica e l'insufficiente fornitura di acqua fattori aggravanti
- notevole inquinamento (sia terrestre sia marino) dovuto a rottura di tubazioni
- scarsa risposta del personale interno e degli enti esterni



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. **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. Il ricorso all'analisi di dati storici per la stima delle frequenze incidentali, è applicabile solo in parte, data la scarsa disponibilità di informazioni per eventi che sono, in termini assoluti, piuttosto rari.



Il rischio sismico negli stabilimenti ARIR

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**:

1. 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
2. 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 inerzia
3. Tubazioni: hanno il compito di convogliare le sostanze 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, ecc.) le tubazioni sono realizzate con materiali non malleabili (ghisa, ceramiche, cemento) su cui le sollecitazioni sismiche quasi sempre provocano fratture



Le novità apportate dalla Seveso III

La recente introduzione del D. Lgs. 26 giugno 2015 nr. 105, "*Seveso III*", che recepisce la Direttiva 2012/18/UE 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- *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

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

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

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☒



Misure di mitigazione - l'isolamento sismico -

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

L'isolamento sismico consente di abbattere significativamente le accelerazioni orizzontali durante il terremoto, e di standardizzare il progetto, rendendolo 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.

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**

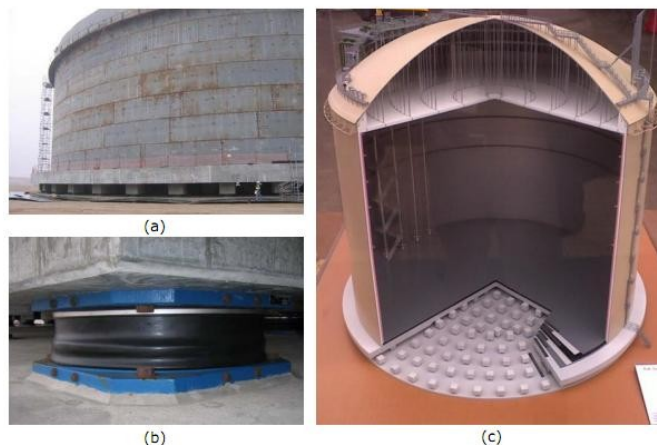


Misure di mitigazione

- isolamento sismico di tipo statico -



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)

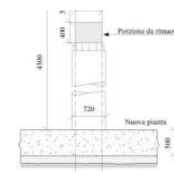


Pampa Melchorita (Perù): (a) uno dei due serbatoi per lo stoccaggio di LNG da 130.000 m³ sismicamente isolato con (b) tripli pendoli a scorrimento; (c) modello del serbatoio

Formich 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



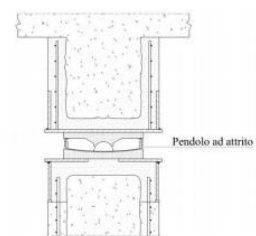
Ripresa fotografica nel corso dei lavori



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



Asportazione dei conci dei pilastri



Inserimento del pendolo ad attrito



Misure di mitigazione

- isolamento sismico di tipo dinamico -

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, 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



Conclusioni

La recente introduzione del D. Lgs. 26 giugno 2015 nr. 105, "*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- *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

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 potrebbero diventarlo a seguito di crollo (torri, camini, ecc.). In caso contrario devono essere introdotti eventi incidentali conseguenti al sisma, con la stima anche delle relative frequenze. Per gli stabilimenti ARIR può rendersi necessaria l'adozione di 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

Con il D. Lgs. 26 giugno 2015 nr. 105, "*Seveso III*", i funzionari incaricati delle verifiche ispettive presso gli stabilimenti ARIR possono chiedere informazioni in merito al fatto se:

1. il gestore abbia effettuato o meno uno studio volto alla verifica sismica degli impianti/strutture e se, in seguito a ciò
2. abbia implementato opere di adeguamento, valutandone l'efficacia



Valutazione e gestione del rischio negli insediamenti civili ed industriali - VGR 2016 -

Grazie per l'attenzione

Roma, Istituto Superiore Antincendi: 13-15 settembre 2016
Ingg. F. Marotta, D. Mogorovich, A. Villani, M. Mossa Verre