

---

Giornata di studio

# Sicurezza sismica degli impianti chimici a rischio di incidente rilevante

Roma  
7 febbraio 2013

---

A cura di Paolo Clemente e Alessandro Martelli



Isolamento ed altre strategie  
di progettazione antisismica



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



Giornata di studio  
*Sicurezza sismica degli impianti chimici a rischio di incidente rilevante*  
Roma, 7 febbraio 2013

*A cura di Paolo Clemente & Alessandro Martelli*

2013 ENEA  
Agenzia per le Nuove tecnologie  
l'Energia e lo sviluppo economico sostenibile

Lungotevere Thaon di Revel, 76  
00196 Roma

ISBN 978-88-8286-285-5

## Indice

Relazione introduttiva <i>Giovanni Lelli</i>	5
Il ruolo delle Accademie scientifiche nazionali <i>Annibale Mottana</i>	7
Criteri e suggerimenti per la riduzione del rischio sismico <i>Michele Maugeri</i>	9
Scenari neo-deterministici di pericolosità sismica (NDSHA) dipendenti dal tempo <i>Antonella Peresan &amp; Giuliano Panza</i>	11
Sicurezza sismica delle strutture industriali <i>Paolo Clemente</i>	17
Progettazione, ricerca e sperimentazione <i>Bernardino Chiaia</i>	23
Analisi Na-Tech per gli impianti chimici industriali <i>Vinicio Rossini</i>	25
Sistemi innovativi nella protezione sismica degli impianti RIR <i>Massimo Forni</i>	31
Attrezzature sperimentali per la qualificazione di dispositivi antisismici per impianti RIR <i>Alessandro De Stefano &amp; Alessandro Martelli</i>	37
Il ruolo delle istituzioni <i>Antonio Vizzaccaro</i>	41
Costruire la percezione del rischio sismico: conoscenza, informazione e partecipazione <i>Chiara Porretta &amp; Edi Valpreda</i>	45
La continuità impiantistica in caso di sisma <i>Fabio Dattilo</i>	47
Possibili indirizzi per la pianificazione ed attuazione di misure di mitigazione in riferimento ad eventi Na-Tech su impianti RIR <i>Francesco Geri</i>	53
Sicurezza sismica e rischi ambientali, industriali e sanitari dei poli petrolchimici siciliani <i>Salvo Cocina</i>	59
La sicurezza sismica degli impianti a rischio di incidente rilevante: un problema e tante opportunità nell'ambito di una seria strategia di intervento <i>Carlo Cremisini</i>	65
Questo nostro strano Paese <i>Gian Vito Graziano</i>	67
Isolamento sismico di serbatoi di impianti chimici a Priolo Gargallo (SR) <i>Nunzio Scibilia</i>	69
Sintesi e conclusioni <i>Paolo Clemente &amp; Alessandro Martelli</i>	75



## **RELAZIONE INTRODUTTIVA**

Giovanni Lelli  
*Commissario ENEA*

Gli eventi sismici possono causare crolli di edifici, ponti ed altre strutture, con conseguenti perdite di vite umane e possono mettere in crisi l'assetto socio-economico anche di grandi aree e provocare ingenti danni all'ambiente, se sono interessati dagli effetti disastrosi anche impianti cosiddetti a rischio di incidente rilevante (RIR).

In Italia queste problematiche si presentano in maniera particolarmente preoccupante per gli impianti chimici, quando situati in aree caratterizzate da notevole sismicità e in prossimità delle coste, dove agli effetti dei terremoti possono aggiungersi quelli ancora più terribili dei maremoti.

Una corretta politica di prevenzione deve tener conto della pericolosità sismica dei siti e della vulnerabilità delle strutture industriali, nonché delle potenzialità che oggi offrono le moderne tecnologie antisismiche non solo per la progettazione di nuovi impianti, ma anche per l'adeguamento di quelli esistenti. L'uso delle suddette tecnologie richiede anche la realizzazione di infrastrutture per le attività sperimentali di caratterizzazione e qualifica dei dispositivi antisismici.

L'ENEA, da sempre attenta alle questioni energetiche come a quelle ambientali e della salute dell'uomo, ha posto il problema, avviando la discussione nella comunità scientifica ed evidenziando come fosse indispensabile:

- approfondire le conoscenze in relazione al moto sismico atteso ai siti degli impianti, anche attraverso studi dettagliati sulla risposta sismica locale,
- effettuare accurate valutazioni della vulnerabilità delle strutture e dei componenti (tubazioni, giunti, ecc.),
- avviare un programma per l'adeguamento sismico degli impianti esistenti, partendo dalle situazioni più a rischio,
- ricorrere ove possibile all'uso di moderne tecnologie antisismiche, che garantiscono un grado di sicurezza nettamente superiore alle tecniche tradizionali,
- predisporre un piano di caratterizzazione e successivo monitoraggio, adeguato ad ogni singolo impianto a rischio, da attuare nel caso di incidente rilevante che possa causare il rilascio di sostanze potenzialmente nocive nell'ambiente.

A tal fine, l'ENEA può mettere a disposizione della comunità e delle istituzioni competenti, il proprio know-how che investe tutti i suddetti aspetti, per interventi efficaci e preventivi, indispensabili per sposare bene progresso e rispetto dell'ambiente, conditio sine-qua-non per uno sviluppo economico sostenibile.

In questo spirito è stato organizzato, in collaborazione con l'associazione GLIS, il convegno sul tema *Sicurezza sismica degli impianti chimici a rischio di incidente*

*rilevante*, che ha il patrocinio dell'Accademia Nazionale dei Lincei e dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, del Consiglio Nazionale degli Ingegneri, della Società Geologica Italiana, del Parco Scientifico e Tecnologico del Lazio Meridionale (Pa.L.Mer.) e della Sezione Territoriale Europea dell'Anti-Seismic Systems International Society (ASSIS). Del comitato promotore hanno fatto parte, oltre ai curatori di questo volume, il dott. Carlo Cremisini dell'ENEA, il prof. Annibale Mottana, in rappresentanza dell'Accademia dei Lincei e dell'Accademia delle Scienze, e l'ing. Antonio Vizzaccaro dell'Ufficio di Presidenza dell'VIII Commissione Permanente Ambiente, Territorio e Lavori Pubblici della Camera dei Deputati.

## IL RUOLO DELLE ACCADEMIE SCIENTIFICHE NAZIONALI

Annibale Mottana

*Università degli Studi Roma Tre, Accademia Nazionale dei Lincei & Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL*

Partecipo al convegno in rappresentanza delle due maggiori Accademie scientifiche nazionali, quella dei Lincei e quella delle Scienze (o dei Quaranta), che hanno entrambe concesso il patrocinio a questo convegno organizzato dall'ENEA, alla preparazione del quale ho, inoltre, personalmente partecipato. Eppure, ora che devo presentare, all'ENEA e a voi tutti, i saluti delle due accademie, non posso fare a meno di provare un certo disagio nei vostri confronti ed anche dell'iniziativa. Sono troppi, a mio parere, gli accademici che ancora mortificano la tecnologia, ritenendola un qualcosa che non è scienza, secondo un pregiudizio vecchissimo (aristotelico se non addirittura platonico) che ha impedito finora all'Accademia dei Lincei (per esempio) di creare una sezione di Ingegneria o di Tecnologia. Tra i Lincei figurano tecnologi e ingegneri illustri (cito, fra tutti, Giulio Maier del Politecnico di Milano, per togliermi dall'imbarazzo che crea in me il non vedere presenti a questa riunione due soci che insegnano in due delle tre università romane), ma essi vi figurano come matematici applicati: non sembra valere, in Accademia, il criterio che oramai è accettato da tutti che "*research technology drives scientific advances*". Eppure, è proprio di questa spinta che l'Italia ha bisogno, sia per proteggersi dagli eventi naturali che la squassano (e faccio riferimento qui alla lista dolorosa che ho avuto modo di presentare al Presidente della Repubblica durante l'Adunanza Plenaria Lincea del 22 giugno 2012), sia per avviare un percorso virtuoso che, tenendo conto delle necessità di prevenzione futura, riavvii strutture e impianti a rischio. In Italia, anzi, il rischio è duplice: il primo è quello connesso con l'instabilità geologica della nostra penisola; il secondo è quello derivante dall'incuria degli uomini preposti alla tutela del territorio. Non mi riferisco qui ad enti od alla stessa Protezione Civile, che fanno il loro dovere – anche se spesso esso consiste nel giustificare e riparare i danni più che nel prevenirli. Mi riferisco, piuttosto, a quell'estesissima categoria di tecnici che, una volta messo in esercizio un impianto, non si curano di mantenerlo sotto stretto controllo e, pertanto, sono – per la loro omissione – essi stessi causa di incidenti rilevanti. Ai RIR è dedicato questo convegno organizzato dall'ENEA, al quale siete venuti numerosi per apprendere tecniche di protezione, almeno, se non è ancora possibile una vera prevenzione. Il mio augurio è che ne traiate una serie di impulsi alla ricerca della prevenzione e d'informazioni sul modo di evitare danni incresciosi come quelli recentemente verificatisi in Emilia; inoltre, il mio augurio è che portiate questa vostra nuova mentalità all'attenzione dei vostri rappresentanti amministrativi e politici, dai quali molto dipende se l'Italia appare essere un paese allo sbando sotto l'aspetto delle iniziative per la tutela ambientale.





## **CRITERI E SUGGERIMENTI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO**

Michele Maugeri

*Università degli Studi di Catania & GLIS*

Il primo problema che si pone per la sicurezza sismica degli impianti chimici è quello relativo alla determinazione del terremoto di progetto, che non è definito dalla normativa vigente, né a livello di Eurocodici, né a livello di Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008). Si pone, pertanto, il problema di una sua valutazione con l'approccio probabilistico, oppure una valutazione con riferimento al terremoto massimo credibile. In effetti, il primo tipo di valutazione è quello previsto dalla normativa NTC 2008 per gli edifici civili, compresi anche quelli strategici. Tuttavia gli impianti chimici non rientrano attualmente nelle normative, neanche con riferimento agli edifici che li contengono. Con riferimento alle Norme EN 1473, per quanto riguarda gli impianti di rigassificazione, sono definiti: il *Safe Shutdown Earthquake (SSE)* e l'*Operational Basis Earthquake (OBE)*. Tali terremoti sono valutati, rispettivamente, per un periodo di ritorno pari a 475 anni per l'OBE e 5000 anni per il SSE; quest'ultimo terremoto, in molti casi, è simile al terremoto massimo credibile.

Un secondo problema riguarda gli impianti chimici esistenti, per i quali è necessario un miglioramento oppure un adeguamento. In genere il criterio del miglioramento sismico è utilizzato per i monumenti, per i quali un adeguamento potrebbe stravolgere la natura del monumento medesimo; miglioramenti pari al 60% della normativa vigente sono stati adottati a seguito dei terremoti dell'Abruzzo del 2009 e dell'Emilia-Romagna del 2012; tuttavia, dato l'elevato rischio connesso agli impianti chimici, sarebbe preferibile adottare il criterio dell'adeguamento sismico degli impianti esistenti.

Un terzo problema riguarda la possibilità di un contributo pubblico per l'adeguamento sismico di impianti che per lo più sono di tipo privato. In effetti, in caso di terremoto distruttivo, le conseguenze del crollo e/o danneggiamento degli impianti chimici, riguarderebbero non solo l'area su cui sorgono tali impianti, ma anche zone esterne ad essa, rappresentando un pericolo per la pubblica incolumità, per effetto delle esalazioni nell'atmosfera e per effetto dell'inquinamento del suolo e, conseguentemente, anche della falda. Sarebbe pertanto auspicabile che anche lo stato e, quindi, la protezione civile nazionale, contribuissero all'adeguamento sismico degli impianti esistenti.

La compatibilità dell'intervento pubblico con le leggi esistenti rappresenta un ulteriore problema con riferimento al D.L. 59 del 15 maggio 2012, in parte superato dalla Legge n. 100 del 12 luglio 2012, emanata a seguito del terremoto dell'Emilia-Romagna. In effetti, quest'ultima legge, pur ampliando i poteri della protezione civile, non è stata adeguatamente finanziata. In contrasto con le scarse disponibilità di finanziamento, la situazione di alcuni impianti chimici a rischio di incidente rilevante, perché ubicati in zone ad alto rischio sismico, come ad esempio Priolo (SR) e Milazzo (ME), necessita di interventi molto costosi, non sostenibili interamente dalla proprietà, per i quali sono necessari contributi significativi da parte della protezione civile nazionale, trattandosi di siti di interesse nazionale.

Per far fronte alla situazione molto critica degli impianti chimici a rischio di incidente rilevante a causa dei terremoti, è necessario un "Piano Strategico Nazionale" per la riduzione del rischio sismico, similmente al Piano Strategico Nazionale per i cambiamenti climatici, presentato al CIPE dal Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, che prevede una spesa di 2.5 miliardi di euro all'anno per 15 anni, di cui 2 provenienti dall'amministrazione statale e 0.5 provenienti dai privati; per un totale di 37.5 miliardi di euro nei prossimi 15 anni. Si rende pertanto urgente un tavolo tecnico, che promuova un'apposita normativa italiana per la sicurezza sismica degli impianti chimici a rischio di incidente rilevante e che, al contempo, sia di stimolo alla presentazione di un Piano Strategico simile a quello presentato per i cambiamenti climatici. Considerato il notevole maggior rischio collegato in Italia ai terremoti distruttivi, tale piano dovrebbe essere finanziato con una cifra maggiore, almeno doppia o tripla, di quello per la riduzione degli effetti dei cambiamenti climatici, pur nella ristrettezza attuale del bilancio dello stato. Tuttavia, nel caso della riduzione del rischio sismico, il contributo proveniente dai privati potrebbe essere più elevato.

## **SCENARI NEO-DETERMINISTICI DI PERICOLOSITÀ SISMICA (NDSHA) DIPENDENTI DAL TEMPO**

Antonella Peresan

*Università degli Studi di Trieste*

Giuliano Panza

*Università degli Studi di Trieste, GLIS & ASSISi*

Una valutazione attendibile dello scuotimento del suolo, eventualmente comprendente indicazioni temporali, è essenziale per pianificare azioni efficaci di mitigazione del rischio sismico. La capacità di anticipare lo scuotimento associato ai terremoti futuri, in ogni caso, deve essere provata mediante un rigoroso processo di validazione.

Il terremoto del 20 maggio 2012, in Emilia, ha evidenziato un problema generale nelle mappe di pericolosità sismica (Peresan & Panza, 2012) definite secondo il classico approccio probabilistico (probabilistic seismic hazard assessment, PSHA). L'evento si è verificato in un'area classificata a "bassa pericolosità sismica" nella attuale mappa nazionale, pubblicata nel 2004 (Gruppo di Lavoro, 2004). L'ultima revisione della classificazione sismica era stata motivata dal terremoto di S. Giuliano di Puglia del 31/10/2002, avvenuto anch'esso in un'area precedentemente definita a bassa pericolosità sismica. La precedente classificazione era stata a sua volta aggiornata nel 1981-1984, dopo che le precedenti mappe avevano mancato il terremoto dell'Irpinia del 1980. Dunque, sebbene le mappe di pericolosità abbiano l'intento di "prevedere" la pericolosità associata ai possibili terremoti futuri, tali mappe hanno dovuto essere sistematicamente aggiornate dopo aver mancato un forte terremoto. Questo equivale a chiudere il recinto dopo che i buoi sono fuggiti. E' quindi doveroso chiedersi: a cosa servono tali mappe?

Alla luce dei limiti evidenziati dal terremoto dell'Emilia, si prospetta una ulteriore revisione delle attuali mappe di pericolosità sismica e delle relative norme recentemente entrate in vigore. Prima di procedere a modifiche ed aggiornamenti è essenziale capire che cosa non ha funzionato e soprattutto perché. In realtà la situazione dell'Emilia riflette i problemi evidenziati a scala globale dalle tradizionali stime PSHA. La mappa di riferimento per la normativa italiana, ad esempio, prevede il valore dell'accelerazione del suolo (l'accelerazione massima attesa su roccia, PGA) che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni. Tali stime appaiono inadeguate non solo in Italia, dove peraltro sono disponibili informazioni molto prolungate sulla storia sismica, ma anche nel resto del mondo: i terremoti di Tohoku (Giappone, 2011), Haiti (2010) e Wenchuan (Cina, 2008) sono avvenuti in aree indicate come relativamente sicure nelle mappe di pericolosità (Geller 2011, Stein et al. 2012). E' stato infatti recentemente dimostrato che le mappe probabilistiche tradizionali, sviluppate una decina di anni fa nell'ambito del programma globale GSHAP, forniscono valori 2-3 volte inferiori a quelli realmente osservati (Kossobokov & Nekrasova, 2012), soprattutto in occasione dei terremoti più forti e distruttivi; conseguentemente il numero di vittime causato dai terremoti risulta di gran lunga superiore a quello stimato sulla base di tali mappe. Le mappe di pericolosità

basate sul metodo PSHA standard, ad oggi in uso, non consentono dunque una valutazione attendibile del rischio a cui è esposta la popolazione (Wyss et al. 2012). Purtroppo, molti dei problemi metodologici, che spiegano la ridotta capacità predittiva delle mappe globali GSHAP, appaiono sostanzialmente irrisolti nei programmi per la revisione delle mappe di pericolosità sismica a scala globale attualmente in corso (e.g. Global Earthquake Model).

In alternativa, o quanto meno a complemento, del metodo PSHA proponiamo l'utilizzo di un approccio avanzato, indicato come valutazione neo-deterministica della pericolosità sismica NDSHA (Neo-Deterministic Seismic Hazard Assessment) reso disponibile già nel 2001. Il metodo NDSHA è basato sulla definizione di "terremoti di scenario", ossia sulla modellazione di un ampio insieme di possibili sorgenti sismiche (caratterizzate indicando almeno dove e quanto forte può avvenire un terremoto) definite sulla base della sismicità storica e la sismotettonica. I recenti progressi nella conoscenza della fisica dei processi di generazione e propagazione delle onde sismiche, insieme con l'aumentata capacità di calcolo, consentono infatti una modellazione realistica del moto del suolo causato da un terremoto, che considera la complessità della sorgente e del mezzo attraversato dalle onde sismiche. L'approccio NDSHA fornisce naturalmente serie temporali realistiche (sismogrammi sintetici) da cui è possibile ottenere stime attendibili di spostamento del terreno, essenziali per le tecniche di isolamento sismico. La procedura NDSHA consente di integrare, appena sono disponibili, nuovi dati geofisici e geologici, come pure le informazioni ottenute dalle metodologie per l'identificazione spazio-temporale dei forti terremoti attesi (i.e. previsioni a medio-termine dei terremoti). Tutto questo porta alla definizione naturale di una serie di scenari di moto del suolo riferiti al basamento (bedrock), eventualmente dipendenti dal tempo (Panza et al., 2012) e naturalmente estensibili per tenere in debito conto gli effetti locali. L'NDSHA può essere sottoposto ad un rigoroso processo di validazione e ad una serie di esperimenti effettuati variando i parametri dei modelli fisici che permettono la quantificazione delle relative incertezze.

Le differenze fra i due diversi approcci, PSHA ed NDSHA, sono sostanziali. L'obiettivo dell'approccio PSHA è quello di stimare la probabilità che il moto del suolo superi una certa soglia prefissata, considerando lo scuotimento e la relativa probabilità associati a tutti i terremoti possibili nell'area in esame. L'approccio NDSHA, invece, determina il massimo moto del suolo associato ad un ampio insieme di terremoti di scenario. In altre parole, PSHA enfatizza la probabilità, che dipende dai modelli statistici, mentre NDSHA enfatizza i modelli fisici (Panza et al., 2012).

Consideriamo, ad esempio, il caso del terremoto dell'Emilia (Fig. 1). La mappa PSHA, che costituisce la base della normativa sismica italiana, prevedeva un valore di PGA inferiore a 0.175 volte l'accelerazione di gravità (g), mentre la mappa NDSHA indicava valori nell'intervallo 0.20 - 0.35 g, in buon accordo con quanto osservato (~0.25 g). Un confronto delle diverse stime in termini di intensità macrosismiche (Zuccolo et al., 2011) (ossia una misura dell'entità del sisma che si basa sui suoi effetti) aveva già evidenziato che l'area epicentrale del terremoto dell'Emilia si trova in una zona in cui PSHA fornisce una intensità inferiore di almeno una unità rispetto a quella fornita da NDSHA (a partire dall'VIII grado della scala di intensità Mercalli Modificata), il cui valore è più vicino alla reale intensità del sisma. La mappa PSHA (Fig. 1a) fornisce stime di pericolosità apparentemente più dettagliate ed ottimistiche rispetto alla mappa NDSHA (Fig. 1b); in realtà, l'elevato dettaglio di tale mappa appare poco realistico, considerate le incertezze

in gioco ed il fatto che le informazioni utilizzate per la sua definizione sono in gran parte costituite da osservazioni macrosismiche. Qualora la medesima mappa PSHA (Fig. 1a) venga tracciata utilizzando una scala di colori più realistica, identica a quella utilizzata per la mappa NDSHA, dove ciascun colore corrisponde ad un diverso grado di intensità macrosismica, si può osservare che PSHA sottostima lo scuotimento osservato, pur prevedendo valori relativamente elevati sull'intero territorio nazionale (Fig. 2).

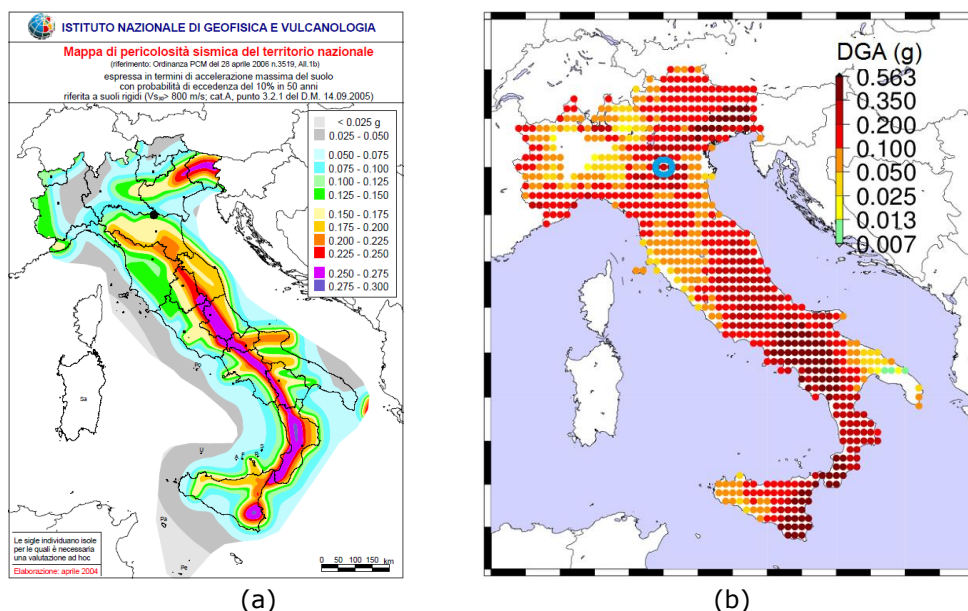


Fig. 1 Mappe di pericolosità sismica sviluppate utilizzando: a) PSHA (mappa di normativa) e b) NDSHA, dove DGA è equivalente a PGA (Zuccolo et al. 2011); a differenza della figura b), nella figura a) l'epicentro del terremoto dell'Emilia, evidenziato nelle mappe, è localizzato in un'area a basso scuotimento atteso (Peresan & Panza, 2012)

In generale, il metodo PSHA ha sottostimato lo scuotimento osservato perché fornisce stime con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni, ossia indica uno scuotimento che può essere superato, in media, una volta ogni circa 500 anni ( $= 50/10\%$ ). Il terremoto più forte ipotizzato nell'area emiliana (di magnitudo  $M = 6.2$ , confrontabile con quella del 20 Maggio) ha un tasso atteso di 0.14 per secolo (ossia un evento ogni 700 anni circa). Questo tuttavia non significa che il terremoto avverrà fra 700 anni! In realtà un simile evento può verificarsi in ogni momento. Ed infatti si è verificato pochi anni dopo la pubblicazione della mappa. Dunque le mappe PSHA sottostimano lo scuotimento reale se si considerano i terremoti più forti, che sono caratterizzati da tempi di ricorrenza più lunghi. Quanto è rilevante tale sottostima? Il confronto tra i valori PSHA con quelli NDSHA e con la sismicità osservata indica che l'accelerazione del suolo per gli eventi più forti può superare anche di due o tre volte quella prevista dalle mappe tradizionali. Basti considerare che l'accelerazione massima prevista sull'intero territorio italiano è 0.28 g, un valore ampiamente superato sia da terremoti recenti (es. L'Aquila) che passati. Considerando mappe definite con una minore probabilità di superamento, ad esempio 2% in 50 anni, si ha un aumento generalizzato della pericolosità, ottenendo valori più rappresentativi dei terremoti forti, ma sovrastimati nelle aree a bassa sismicità. Questa caratteristica, osservata in varie parti del mondo, ha reso il metodo PSHA controverso ed oggetto di un lungo dibattito (Castaños & Lomnitz 2002, Panza et al. 2011) che ha messo in luce errori sia nella sua formulazione matematica che nelle ipotesi di base.

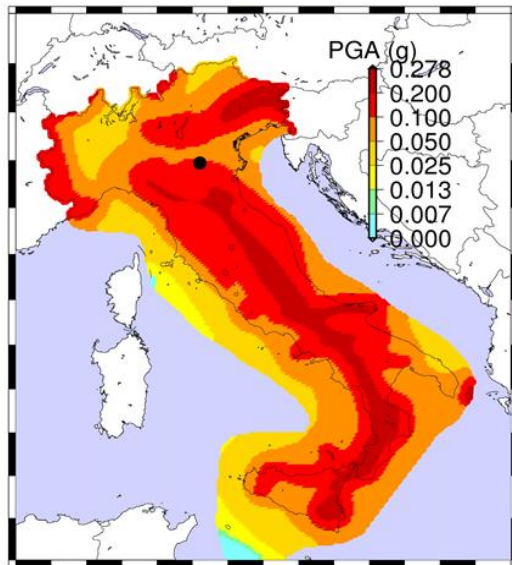


Fig. 2 Mappa di pericolosità sismica PSHA di Fig. 1a tracciata utilizzando la medesima scala di colori utilizzata per la mappa NDSHA di Fig. 1b, dove ciascun colore corrisponde ad un diverso grado di intensità macrosismica (Zuccolo et al., 2011); il circolo nero indica l'epicentro del terremoto dell'Emilia, che ricade nell'intervallo di scuotimento 0.1-0.2 g

Visto che lo scuotimento atteso è strettamente dipendente dalle ipotesi sulla ricorrenza dei forti terremoti, che sono affette da notevoli incertezze e spesso si rivelano errate, ci si chiede se sia ragionevole utilizzare il metodo PSHA come base per la definizione delle norme antisismiche.

In un'ottica di prevenzione, è essenziale che almeno le strutture strategiche e pubbliche siano progettate in modo da resistere a futuri forti terremoti. Quando si verifica un terremoto con una data magnitudo  $M$  lo stesso genera un moto sismico del suolo che non dipende certamente dalla sua sporadicità nell'area di studio. In questa prospettiva, i parametri di progettazione antisismica non devono essere ridotti o aumentati in funzione della maggiore o minore sporadicità del terremoto, come previsto da PSHA, ma devono tener conto dei valori di magnitudo definiti in base alla storia sismica e alla sismotettonica, come previsto dall'approccio NDSHA. Conseguentemente, per passare da un'ottica focalizzata sulla gestione dell'emergenza ad una nuova prospettiva basata sulla prevenzione, è necessario rivalutare sostanzialmente l'ambito di applicabilità di PSHA.

La ricorrenza gioca certamente un ruolo importante nei processi decisionali e, a differenza di PSHA, il metodo NDSHA consente di separare in modo naturale il moto del suolo dalla relativa ricorrenza, come illustrato in Fig. 3. Se si considerano quindi due siti possibili sedi di terremoti della stessa magnitudo (ad esempio  $M=7$ ), ovvero prони agli stessi effetti, a parità di tutte le altre condizioni, il sito dove la sporadicità è maggiore risulta naturalmente preferibile per nuovi insediamenti (viceversa per gli interventi di riqualificazione preventiva e riduzione della vulnerabilità). Tuttavia i parametri di riferimento della progettazione antisismica devono essere uguali nei due siti, dato che la magnitudo da cui ci si deve difendere,  $M=7$ , è la stessa. Tali considerazioni di validità generale sono particolarmente rilevanti per gli impianti chimici, per l'elevata vulnerabilità degli stessi. La valutazione può essere ovviamente diversa in una prospettiva puramente attuariale, che però richiede una caratterizzazione statistica adeguata, che non risulta generalmente possibile a causa della scarsità delle osservazioni disponibili.



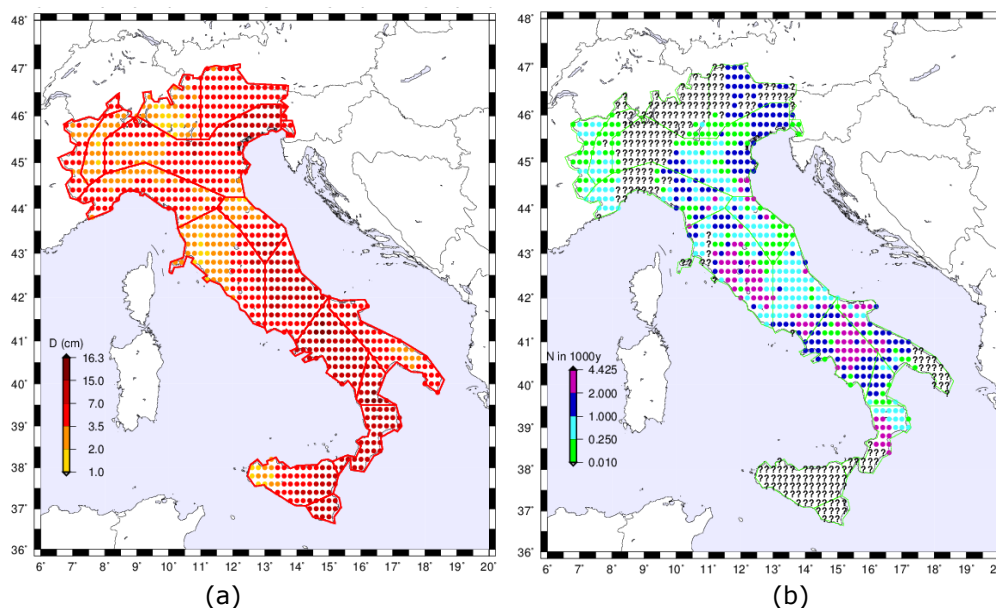


Fig. 3 Mappa NDSHA del moto del suolo al basamento, espresso in termini di a) massimo spostamento orizzontale atteso e b) ricorrenza associata ai valori di spostamento; i punti di domanda nella mappa b) indicano i siti ove le informazioni disponibili non consentono una stima attendibile della ricorrenza dello scuotimento; analoghe mappe possono essere definite considerando l'accelerazione o la velocità di picco, o qualsivoglia parametro di interesse estraibile dai sismogrammi sintetici

Il metodo NDSHA consente, inoltre, di integrare le informazioni temporali fornite dalle metodologie di previsione a medio termine spazio temporale dei terremoti (i.e. algoritmi CN ed M8S, Panza et al. 2012) formalmente definite secondo uno schema di *pattern recognition* ed in fase di avanzata validazione sia a scala globale che sul territorio italiano. La procedura integrata consente la definizione di scenari neo-deterministici di scuotimento del suolo dipendenti dal tempo, associati alle aree allarmate. Tali scenari (Fig. 4) vengono sistematicamente aggiornati e possono fornire indicazioni utili per stabilire la priorità degli interventi di prevenzione.

In conclusione è opportuno sottolineare che il metodo neo-deterministico NDSHA, che consente una stima della pericolosità sismica basata sulla modellazione fisica realistica dei possibili forti terremoti, è già disponibile ed applicato da diversi anni sia a scala regionale (scuotimento del suolo al basamento) che a scala locale (inclusi effetti di sito). Alla luce dei recenti distruttivi terremoti che hanno colpito l'Italia, è possibile affermare che il metodo NDSHA fornisce una stima più attendibile della pericolosità sismica rispetto al PSHA? Noi crediamo di sì ed invitiamo gli esperti nella stima del rischio sismico a sperimentare su ampia scala il metodo da noi sviluppato.

## Bibliografia

- Peresan A. and Panza G.F. (2012). "Improving earthquake hazard assessment in Italy: an alternative to Texas sharpshooting". *EOS Transaction, American Geophysical Union*. Vol. 93, No. 51.
- Gruppo di Lavoro (2004). *Redazione della mappa di pericolosità sismica, rapporto conclusivo*. [http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa\\_ps\\_apr04/italia.html](http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html).

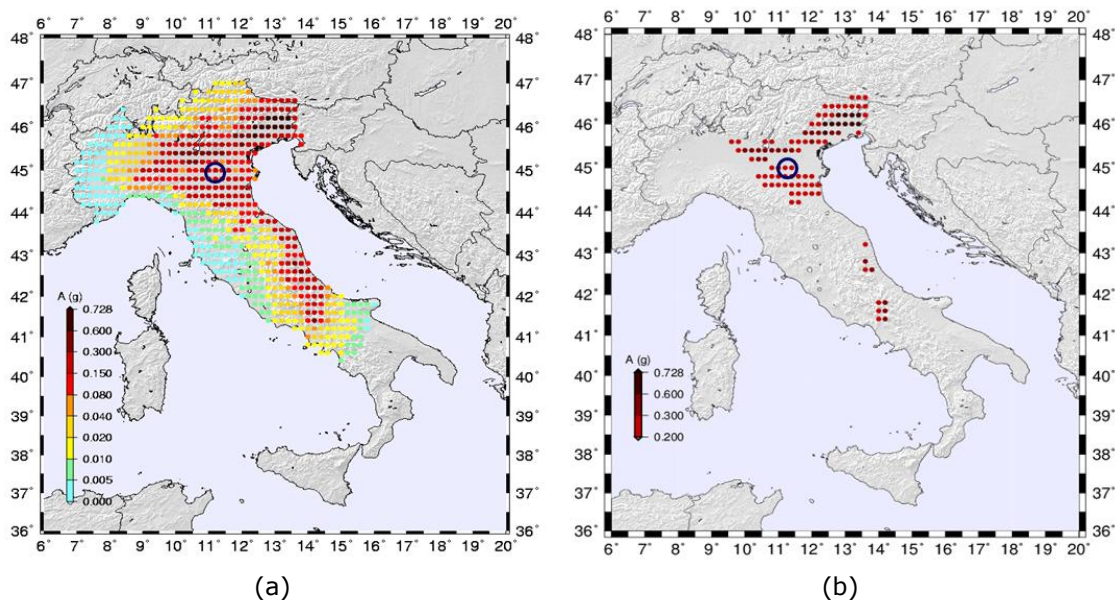


Fig. 4 Scenari di scuotimento dipendenti dal tempo (Peresan et al., 2012), associati alla regione CN Settentrionale e definiti per il periodo 01/03/2012 – 01/05/2012: a) mappa di accelerazione, calcolata considerando simultaneamente tutte le possibili sorgenti comprese nella regione allertata; b) stesso della figura a), ma per  $A > 0.2$  g. Il circolo evidenzia l'area entro un raggio di 30 km dall'epicentro del terremoto dell'Emilia

- Geller R. J. (2011). "Shake-up time for Japanese seismology". *Nature*, 472, 407–409, doi:10.1038/nature10105.
- Stein S., Geller R. and Liu M. (2012). "Why earthquake hazard maps often fail and what to do about it", *Tectonophysics*, 562-563, 1–25, doi:10.1016/j.tecto.2012.06.047.
- Kossobokov V.G and Nekrasova A. (2012). "Global Seismic Hazard Assessment Program Maps are Erroneous". *Seismic Instruments*, 2012, Vol. 48, No. 2, pp. 162–170. Allerton Press, Inc., ISSN 0747\_9239.
- Wyss, M., Nekrasova A., and Kossobokov V. (2012). "Errors in expected human losses due to incorrect seismic hazard estimates". *Nat. Hazards*, 62, 927–935, doi:10.1007/s11069-012-0125-5.
- Panza G. F., La Mura C., Peresan A., Romanelli F. and Vaccari F. (2012). "Seismic hazard scenarios as preventive tools for a disaster resilient society". *Adv. Geophys*, 53, 93–165, doi:10.1016/B978-0-12-380938-4.00003-3.
- Zuccolo E., Vaccari F., Peresan A., and Panza G. F. (2011). "Neo-deterministic (NDSHA) and probabilistic seismic hazard (PSHA) assessments: A comparison over the Italian territory". *Pure Appl. Geophys.*, 168, 69–83, doi:10.1007/s00024-010-0151-8.
- Castaños H. and Lomnitz C. (2002). "PSHA: Is it science?", *Eng. Geol.*, 66, 315–317, doi:10.1016/S0013-7952(02)00039-X.
- Panza G. F., Irikura K., Kouteva M., Peresan A., Wang Z. and Saragoni R. (Eds.) (2011). *Advanced seismic hazard assessment*. Pure Appl. Geophys., 168, 752 pp.
- Peresan A., Magrin A., Vaccari F., Panza G.F. (2012). Prospective testing of time-dependent neo-deterministic seismic hazard scenarios. *Atti del 31° Convegno GNGTS*. ISBN 978-88-902101-2-9.



## SICUREZZA SISMICA DELLE STRUTTURE INDUSTRIALI

Paolo Clemente  
ENEA, GLIS & ASSISI

11 marzo 2011: un violento terremoto di magnitudo 9.0 si verifica al largo della costa orientale giapponese. I danni sembrano limitati ma il sisma provoca uno tsunami che dopo pochi minuti raggiunge la costa: le onde, con un'altezza di circa 14 m, investono anche la centrale nucleare di Fukushima Daiichi, scavalcando le barriere di protezione (alte circa 6 m) ed invadendo i locali della centrale. I generatori di energia di emergenza vengono messi fuori uso e il raffreddamento del combustibile interrotto (Fig. 1). E' soltanto un esempio reale di quello che oggi potrebbe provocare un evento sismico, al contrario del passato, quando un terremoto provocava esclusivamente crolli di edifici e vittime. Un evento sismico può mettere in crisi l'assetto socio-economico anche di grandi aree e provocare disastri ambientali incalcolabili. L'Italia ha recentemente confermato il no al nucleare ma sono comunque numerosi gli impianti a rischio di incidente rilevante sul territorio, quali impianti di raffinazione del petrolio, acciaierie e impianti metallurgici, stabilimenti chimici e petrolchimici, centrali termoelettriche ad olio combustibile, produzione e deposito di esplosivi, deposito di fitofarmaci, deposito di tossici, depositi di oli minerali e depositi di gas liquefatti.



Fig. 1 L'onda (alta circa 14 m) investe la centrale nucleare di Fukushima Daiichi, scavalcando le barriere di protezione (alte circa 6 m) ed invade i locali della centrale

Con riferimento agli impianti chimici e petrolchimici, diversi sono stati nel mondo gli incidenti negli ultimi decenni. Il terremoto di Izmit (Turchia, 1999,  $M_w=7.4$ ) causò l'incendio e il collasso di un serbatoio di stoccaggio nella raffineria di Yarimca, con gravissime conseguenze in termini di inquinamento atmosferico e approvvigionamento (Fig. 2). Il terremoto del Costa Rica (1991,  $M_w=7.8$ ) causò il ribaltamento di un serbatoio e, in altri, la perdita di liquidi e la rottura della copertura. A Landers (California, 1992,  $M_w=7.3$ ), oltre al collasso della copertura, si ebbe la rottura di tubazioni (Fig. 3). Nella

raffineria di Tomakomai City, a circa 220 km dall'epicentro del terremoto Off Tokachi (Giappone, 2003), un serbatoio contenente greggio si incendiò dopo l'evento principale del 26/09/2003 ( $M=8.0$ ); successivamente un serbatoio con nafta si incendiò durante un aftershock del 28/09/2003 ( $M=7.1$ ). La rottura delle coperture dei serbatoi, alle quali seguirono gli incendi, si dovette ai movimenti ondosi "di pelo libero" (sloshing) dei liquidi infiammabili contenuti, innescati dalle vibrazioni sismiche.



*Fig. 2 Terremoto di Izmit (Turchia), 1999,  $M_w=7.4$ : incendio e conseguente collasso di un serbatoio di stoccaggio nella raffineria di Yarimca; l'incendio ebbe gravissime conseguenze in termini di inquinamento atmosferico e problemi di approvvigionamento*



*Fig. 3 Terremoto di Landers (CA), 28/06/1992,  $M_w=7.3$ : danni alle tubazioni rigide*

In mancanza di una normativa ad hoc, un valido riferimento per la progettazione è fornito dagli impianti nucleari, per i quali si definiscono due livelli di evento sismico:

- il Safe Shutdown Earthquake (SSE), che corrisponde al sisma più violento di quelli ritenuti possibili al sito, ossia a bassissima probabilità di accadimento: fino a tale intensità deve essere garantita la sicurezza della popolazione e degli operatori e, a tal fine, deve essere possibile lo spegnimento rapido dei reattori e devono restare integri componenti e strutture essenziali per la sicurezza;
- l'Operational Basis Earthquake (OBE), fino al quale va garantito il funzionamento dell'impianto in condizioni di sicurezza e, quindi, l'integrità assoluta di componenti e strutture necessari per il funzionamento in tali condizioni.

E' ovvio che il primo evento è relativo a valori molto elevati del periodo di ritorno o, meglio, al massimo terremoto credibile, mentre il secondo è relativo ad una situazione più frequente e meno pericolosa.

Attualmente la pericolosità sismica di riferimento sul territorio nazionale si basa sull'approccio probabilistico che ha condotto alla messa a punto delle mappe di pericolosità, ciascuna relativa ad un valore della probabilità di accadimento in 50 anni, che a sua volta corrisponde a un valore del tempo di ritorno. Per le costruzioni ordinarie si fa riferimento ad un evento sismico con probabilità del 10% di essere superato in 50 anni, ossia con tempo di ritorno di 475 anni (Fig. 4a). Si tratta di una scelta ingegneristica che implica l'accettazione di un certo grado di rischio. Per strutture di particolare rilevanza e quelle strategiche, ma non soltanto per esse, è opportuno ridurre il livello di rischio accettabile e fare riferimento a probabilità di accadimento inferiori.

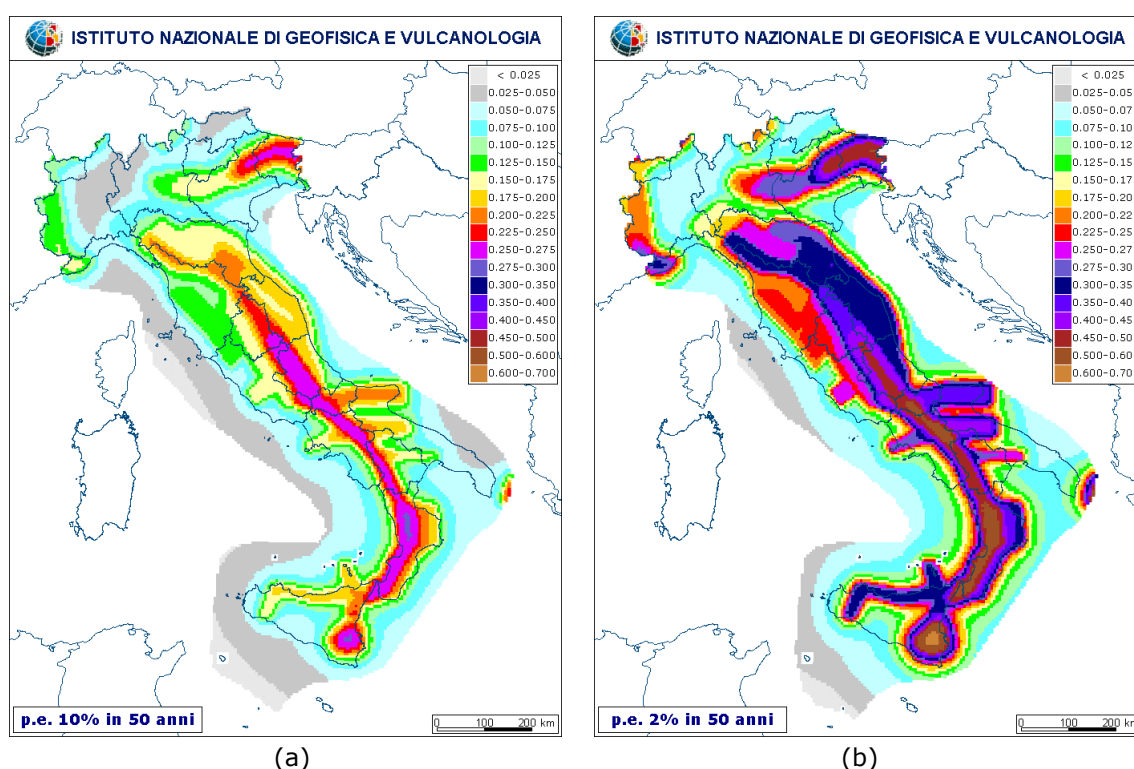


Fig. 4 Mappe della pericolosità sismica di riferimento

Ad esempio all'evento sismico emiliano (a Mirandola è stato registrato in superficie un valore massimo dell'accelerazione di quasi 0.30g, che potremmo definire il "picco della Mirandola", corrispondente, per il tipo di sottosuolo al sito, ad un valore massimo dell'accelerazione al bedrock di circa 0.22 g) le mappe attribuivano una probabilità inferiore al 5% in 50 anni, ossia un tempo di ritorno di oltre 1000 anni: non si tratta di un evento ritenuto impossibile ma semplicemente poco probabile o, meglio, poco frequente. E' ovvio che, specie in aree ad elevata densità di popolazione e soprattutto per le strutture di attività produttive di interesse nazionale, andrebbe adottato un grado di sicurezza maggiore, al fine di ridurre il rischio. La mappa in Fig. 4b è relativa ad una probabilità del 2% in 50 anni, ossia ad un tempo di ritorno di 2475 anni, che rappresenta il massimo attualmente previsto dalle norme tecniche, compatibile con le nostre conoscenze sulla storia sismica.

In alternativa o, meglio, in aggiunta all'approccio probabilistico si potrebbe utilizzare l'approccio deterministico che fa riferimento all'evento massimo credibile al sito. Ai fini di un confronto, le mappe di pericolosità ottenute col metodo deterministico andrebbero confrontate con quelle dell'approccio probabilistico relative ad un periodo di ritorno molto elevato.

Va osservato che la valutazione della pericolosità di base non è sufficiente a definire le azioni sismiche al piede di una struttura. Queste possono subire notevoli variazioni per effetti locali, sia in termini di valori di picco che di contenuto in frequenza, e possono assumere valori anche molto diversi a brevi distanze, come riscontrato in molti studi condotti dall'ENEA, tra cui quello di Belmonte Castello (FR) dove sono stati registrati *aftershock* del terremoto dell'Aquila del 2009. Di qui la necessità della microzonazione sismica, che innanzitutto individui microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) individuando le aree instabili, da non utilizzare per le costruzioni, e le aree stabili, quindi utilizzabili (Fig. 5). Per le aree stabili ma suscettibili di amplificazione, invece, lo studio richiede un approfondimento per valutare l'amplificazione sismica in superficie rispetto ai valori di accelerazione forniti per il suolo rigido dall'analisi della pericolosità sismica di base. Ciò può essere fatto, per i casi più semplici, mediante l'uso di abachi predisposti e, per i casi più complessi, mediante accurate misure in sito e un'adeguata modellazione.

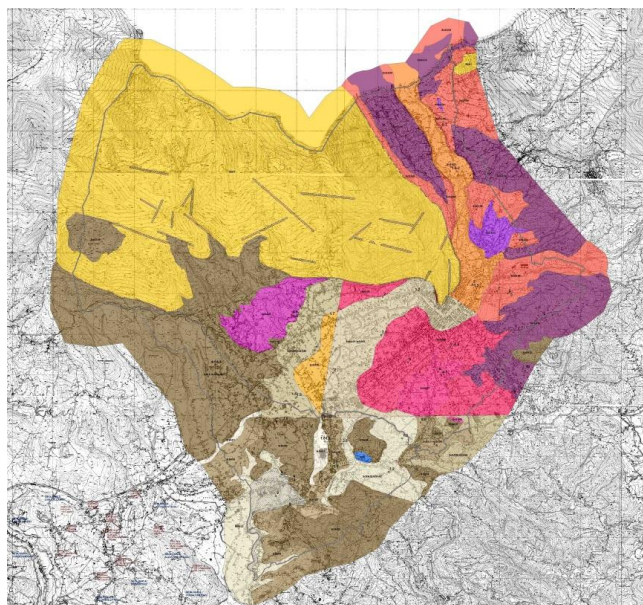


Fig. 5 Microzone omogenee in prospettiva sismica

Come è noto gran parte del costruito nel nostro paese non rispetta le attuali norme sismiche. Questo vuol dire che gran parte delle nostre abitazioni, dei nostri uffici e delle nostre scuole non offrono, a fronte di eventi sismici, il grado di sicurezza attualmente richiesto per le nuove costruzioni. Lo si è visto in maniera drammatica con gli edifici industriali della pianura Padana Emiliana, spesso costruiti senza tener conto delle azioni sismiche (Fig. 6).

Le norme attuali non impongono la verifica delle costruzioni esistenti se non in casi molto particolari e non impongono nemmeno la necessità di intervenire a seguito di esito negativo della valutazione nel caso in cui l'inadeguatezza sia dovuta ad azioni non controllabili dall'uomo e incerte, quali le azioni sismiche, ma soltanto in caso di



inefficienza nei confronti dei carichi verticali, ossia controllate dall'uomo. Soltanto per le opere di interesse strategico l'OPCM 3274/2003 obbligava i proprietari alla verifica entro 5 anni, specialmente per le zone a media ed elevata sismicità, secondo un piano di priorità da elaborare entro 6 mesi sulla base delle risorse finanziarie disponibili, ma la necessità di intervenire andava soltanto "tenuta in considerazione ... nella redazione dei piani triennali e annuali ... nonché ai fini della predisposizione del piano straordinario di messa in sicurezza antisismica ...". In definitiva le norme non impongono di intervenire sugli edifici esistenti.

La valutazione della sicurezza, sia per le strutture residenziali sia per gli impianti a rischio di incidente rilevante, non può basarsi su un semplice esame visivo. Sono necessarie analisi sperimentali sui materiali e sulle strutture e analisi numeriche complesse per la valutazione della capacità. Sono operazioni che possono avere un costo significativo, ma sono indispensabili sia per la valutazione in sé sia per la definizione degli eventuali interventi.



Fig. 6 Edifici industriali fortemente danneggiati dal sisma emiliano del 2012

Più in generale gli obiettivi strategici sono: la definizione di scenari di danno; l'analisi della risposta sismica locale nei siti di impianti; la valutazione della vulnerabilità delle strutture, il cui danneggiamento potrebbe provocare ingenti danni all'ambiente e che devono restare operative anche in occasione di un terremoto; il monitoraggio statico e sismico permanente delle strutture e dei componenti; l'adozione di tecniche innovative di protezione sismica per le nuove realizzazioni ma anche per l'adeguamento delle esistenti.

Quest'ultimo aspetto è molto arduo, trattandosi spesso di strutture complesse costruite senza tener conto delle azioni sismiche, vulnerabili perfino a eventi moderati e caratterizzate da irregolarità, presenza di tubazioni lunghe e complesse per le quali vanno preservate le esigenze funzionali ed economiche. Una soluzione interessante, proposta per gli edifici esistenti di interesse storico artistico ed estendibile agli impianti industriali a rischio di incidente rilevante, consiste nella realizzazione di un sistema di isolamento al di sotto delle fondazioni, senza toccare la struttura in elevazione (Clemente et al., 2012).

La prevenzione, infine, non può prescindere dall'informazione e i cittadini devono capire che informare non vuol dire allarmare. Il cittadino deve essere informato secondo le conoscenze attuali e poi ha il diritto di decidere su scelte che riguardano la sua vita: nessun altro può decidere al suo posto. D'altra parte, cento falsi allarmi sono preferibili ad un solo mancato allarme. Una corretta informazione è indispensabile sia per diffondere la cultura della prevenzione sia per poter mitigare gli effetti connessi al rischio. Non appaia esagerata l'ipotesi di imporre l'affissione, all'ingresso delle strutture non adeguate sismicamente, di un cartello che indichi chiaramente la non sicurezza dal punto di vista sismico, come accade in numerosi edifici della California. E' un diritto di chi si reca in quella struttura per lavoro, svago o altro, sapere se sta entrando in una struttura sicura o meno.

## **Bibliografia**

- Bongiovanni G., Buffarini G., Clemente P., Saitta F. (2012). "Building in seismic areas: towards a new prevention policy". 15th World Conf. on Earth. Eng., 15WCEE, (Lisbon, 24-28 Sept.), Paper No. 0672.
- Clemente P. (2011). "Edifici in zona sismica: verso una nuova politica di prevenzione". Atti Convegno CASA: Sicurezza e Energia, URIA (Roma, 25 nov.2011), [www.uriaroma.it](http://www.uriaroma.it)
- Clemente P. (2012). "Sicurezza strutturale ed efficienza energetica". La Proprietà Edilizia, Federproprietà, n. 10, 41-43.
- Clemente P., Forni M., Martelli A. (Eds) (2012). Focus on The Pianura Padana Emiliana Earthquake. Energia, Ambiente e Innovazione, No. 4-5, Parte II, ENEA, Roma.
- Clemente P., De Stefano A., Zago R. (2012). "Seismic isolation in existing complex structures". 15th World Conf. on Earth. Eng., 15WCEE, (Lisbon, 24-28 Sept.), Paper No. 0712.

## **PROGETTAZIONE, RICERCA E SPERIMENTAZIONE**

Bernardino Chiaia

*Politecnico di Torino & membro c.d.a. dell'INGV*

Una sessione del convegno è stata incentrata sugli aspetti ingegneristici del rischio sismico negli impianti industriali a Rischio di Incidente Rilevante (RIR).

Il primo intervento del dott. Rossini di TECSA S.p.A. ha affrontato la problematica della valutazione della vulnerabilità delle strutture e degli impianti di processo e stoccaggio, illustrando come un corretto approccio al problema presuppone l'interazione attiva di competenze complementari, quali quelle dell'analisi di rischio industriale e dell'ingegneria strutturale. La definizione dell'esposizione al rischio, in questi impianti, non può prescindere dalle caratteristiche del processo industriale condotto nel singolo *item* da analizzare, né dalla sua localizzazione all'interno dello stabilimento (sia per le interazioni con l'ambiente esterno in caso di incidente, sia per l'insorgenza possibile di "effetti domino"). Anche al fine di limitare i costi operativi, si propone quindi un'innovativa analisi di vulnerabilità "di livello 0", prodroma alle successive verifiche strutturali approfondite e basata su considerazioni sinergiche di analisi di processo, analisi di rischio e calcolo strutturale.

Il secondo intervento, da parte dell'ing. Forni dell'ENEA, è stato volto alla disamina delle moderne tecniche d'isolamento sismico delle strutture industriali, mediante dispositivi in grado di disaccoppiare il moto del terreno da quello della struttura sovrastante, in tal modo abbattendo significativamente le sollecitazioni ed i rischi di collasso/interruzione di operatività. Dopo una disamina sullo stato dell'arte e sulle differenti tecnologie di isolamento sismico (elastomeri, dispositivi a pendolo scorrevole, rulli, ecc.), l'intervento ha approfondito anche la tematica dei costi associati a tali interventi, mettendo in luce gli ambiti ove tale tecnica risulta concorrenziale ed altamente preferibile ad altre (ad esempio nel caso dei serbatoi *Horton* in zone a pericolosità medio/alta). Infine, sono stati illustrati i casi di applicazione della tecnica dell'isolamento in ambito nucleare.

La terza ed ultima presentazione, da parte del prof. De Stefano, ha discusso la problematica della normativa associata ai dispositivi d'isolamento sismico (norme di accettazione e qualificazione) e dei laboratori sperimentali in grado di svolgere *test* attendibili su questi dispositivi. Si è rilevato come, ad oggi, soltanto due laboratori nel mondo sono in grado di effettuare *test* triassiali su prototipi degli isolatori, ossia di simulare gli effetti di un terremoto reale. L'insufficienza palese delle prove monodirezionali previste dalla normativa italiana è emersa in vari casi e richiede un urgente aggiornamento delle norme stesse. In conclusione, evidenziando l'eccellenza italiana nel settore dell'isolamento sismico (testimoniata dai lavori degli esperti del GLIS e dell'ENEA e di molti ricercatori universitari), sono stati illustrati la proposta di realizzazione in Italia di un'apparecchiatura in grado di effettuare prove triassiali sui dispositivi a grande scala ed un primo studio di fattibilità per la progettazione e costruzione della stessa.

Dalla discussione al termine della sessione è emerso il grande interesse da parte della proprietà industriale e delle autorità ad approfondire la tematica della sicurezza sismica, sia in maniera preventiva con le analisi speditive di vulnerabilità strutturale da inserire nei rapporti di sicurezza, al fine di individuare le reali criticità di rischio in una situazione assai peculiare (ed al momento non normata per le procedure), sia in un'ottica d'intervento di miglioramento per il quale, soprattutto per gli *item* di maggior valore economico o a maggior rischio, la tecnologia dell'isolamento sismico rappresenta la soluzione più affidabile e performante.



## ANALISI NA-TECH PER GLI IMPIANTI CHIMICI

Vinicio Rossini & Piera Carli  
TECSA S.p.A., Pero, Milano

Le catastrofi naturali possono comportare un rischio che non dipende unicamente dagli effetti diretti su persone e strutture, ma comprende anche gli effetti conseguenti ad eventuali rilasci di sostanze pericolose da *item* di impianti e stoccaggi colpiti dall'evento naturale stesso. Gli incidenti così generati sono stati nominati eventi *Na-Tech* (Natural – Technological event), ad indicare la loro doppia composizione, naturale e tecnologica. Come evidenziato dall'analisi storica, gli eventi *Na-Tech* possono essere generati da diversi eventi naturali: fulmini; alluvioni; terremoti; fenomeni vulcanici; uragani; forte vento, trombe d'aria. Su 7109 eventi incidentali accaduti in siti industriali, n. 215 sono stati causati da eventi naturali (Banca dati MHIDAS). Il 3% degli eventi incidentali sono *Na-Tech* (Figg. 1 e 2).

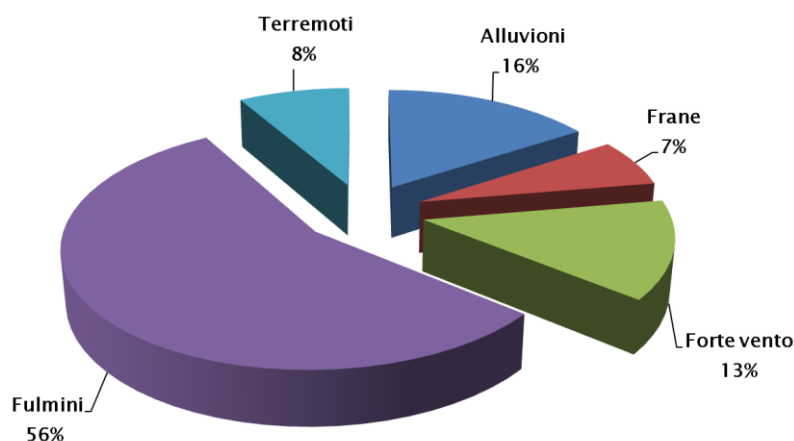


Fig. 1 Ripartizione percentuale cause di eventi Na-Tech (banca dati MHIDAS)

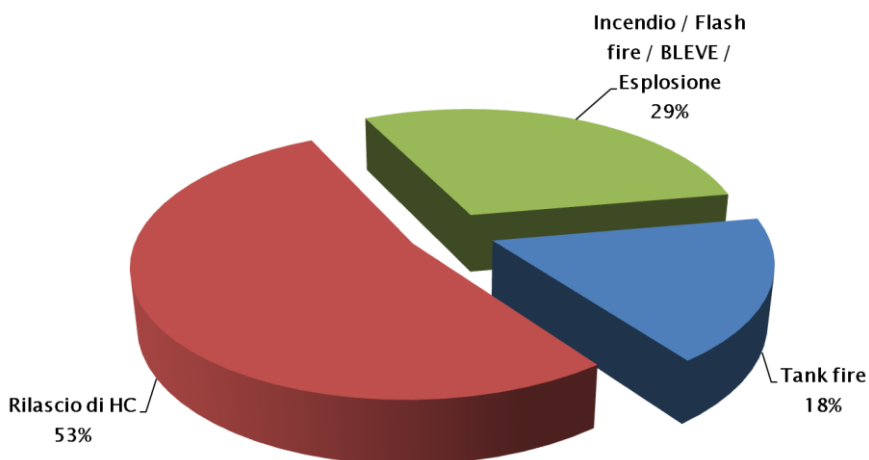


Fig. 2 Ripartizione percentuale conseguenze di eventi Na-Tech (banca dati MHIDAS)

L'analisi storica mostra che l'impatto di un evento sismico su un impianto industriale può comportare il rilascio di ingenti quantità di prodotti pericolosi, con conseguente verificarsi di eventi incidentali rilevanti concomitanti, quali: incendi; esplosioni; dispersioni tossiche e inquinamento di corpi idrici superficiali e falde acquifere. La magnitudo di tali incidenti è inoltre amplificata dal possibile contemporaneo fuori servizio dei sistemi di mitigazione preposti al contenimento degli eventi o alla messa in sicurezza degli impianti, come, ad esempio:

- crollo ciminiera (115 m) e coinvolgimento di tubazioni di collegamento e del forno Topping e successivo incendio, con impossibilità di intercettare l'alimentazione per inoperabilità valvole di shut-off;
- incendio serbatoio benzina con propagazione ad altri serbatoi;
- danneggiamento strutture pontile con rilascio di HC in mare;
- rottura braccio di travaso GPL;
- mancanza servizi (Energia Elettrica, acqua di raffreddamento)
- rottura tubazione reintegro acqua antincendio, con conseguente impossibilità di contenere gli eventi di incendio.

### **Normativa di riferimento per la prevenzione degli incidenti rilevanti**

Facendo riferimento al Capitolo 2 DPCM 31.03.1989 (Applicazione dell'art. 12 del D.P.R. 17 maggio 1988, n. 175, concernente rischi rilevanti connessi a determinate attività industriali) si legge con riferimento all'*Identificazione degli incidenti*: "*Si verifichi se gli eventuali danni subiti dall'impianto ..... in conseguenza di eventi esterni siano tali da dare luogo ad effetti pericolosi*". Va ricordato che un incidente rilevante si definisce come un evento incidentale di grave entità in cui sostanze pericolose provocano un danno immediato o differito all'uomo o all'ambiente. Al riguardo nel rapporto di sicurezza sono valutati i rischi di incidenti rilevanti che caratterizzano lo stabilimento e sono individuate le misure di prevenzione e protezione esistenti atte a ridurre la probabilità di accadimento di un evento o a limitarne le conseguenze.

Come mostrato in precedenza, gli eventi naturali costituiscono una potenziale causa di incidenti rilevanti, e pertanto influiscono sui risultati dell'analisi di rischio. Gli eventi naturali possono quindi comportare:

- un incremento della frequenza di accadimento associata agli eventi incidentali;
- una estensione delle aree di danno, determinata sia dal contemporaneo verificarsi di più eventi incidentali di magnitudo superiore, sia dalla possibile indisponibilità dei sistemi di protezione e di mitigazione.

### **Procedura di analisi**

Il rischio associato ad un evento incidentale derivante da "*cause interne lo stabilimento*", è dato dal prodotto della probabilità di occorrenza dell'evento (p) per la magnitudo (M) gravità delle conseguenze attese:

$$R = p \cdot M$$

Il rischio associato ad un evento incidentale derivante da "*cause naturali*" (*Na-Tech*), quali il sisma, deve tenere conto:

- della probabilità  $p$  associata al verificarsi dell'evento naturale di determinata intensità
- della propensione delle apparecchiature e delle tubazioni a subire danneggiamenti, ossia della loro vulnerabilità  $V$ ;
- dell'estensione dei danni con particolare riferimento al numero di persone, beni, infrastrutture, servizi potenzialmente coinvolti dagli effetti degli eventi incidentali, ossia dell'esposizione  $E$ :

$$\text{Rischio NaTech} = f(p \cdot V \cdot E)$$

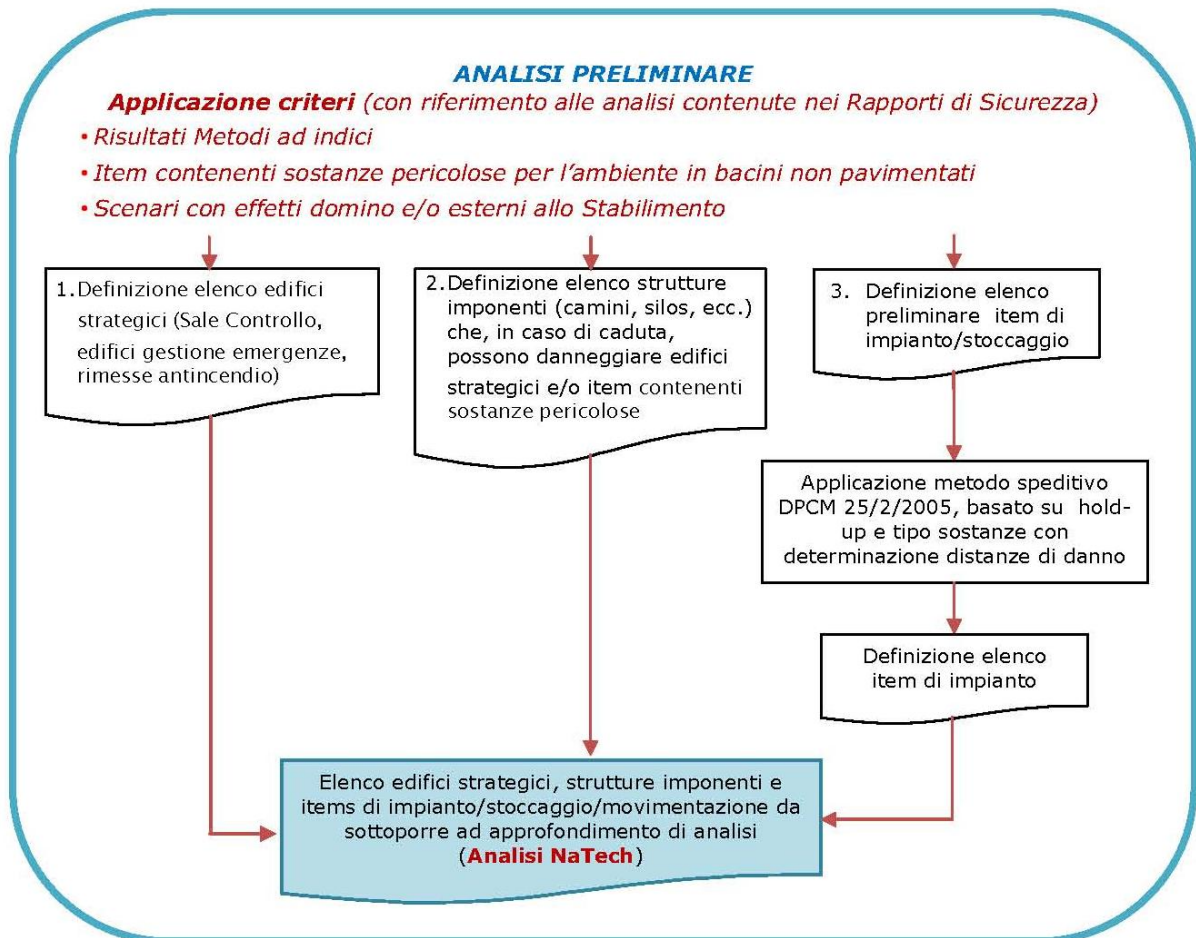


Fig. 3

Negli ultimi anni sono state elaborate diverse metodologie per la valutazione quantitativa del rischio *Na-Tech* relativo ai terremoti. Tali metodologie comportano:

- 1) la stima della probabilità di eccedenza (EP), ovvero la probabilità che un dato valore del picco di accelerazione (PGA) superi un assegnato valore in uno specifico intervallo di tempo (normalmente 50 anni);
- 2) per ogni apparecchiatura critica, la stima della probabilità associata ad una determinata tipologia di danno (lieve, moderato, grave, catastrofico), per ciascun valore della PGA di riferimento (N.B.: non esistono curve di fragilità per tutte le tipologie di apparecchiature);

- 3) per ciascuna apparecchiatura critica e per ogni valore di PGA, la stima delle conseguenze associate a ciascuna tipologia di danno;
- 4) l'identificazione di tutte le combinazioni credibili di eventi (contemporaneità di eventi, compresi effetti domino), e stima delle relative frequenze di accadimento;
- 5) la stima delle conseguenze di tutte le combinazioni credibili di eventi e la valutazione della vulnerabilità;
- 6) la stima del rischio.

L'approccio metodologico descritto è rigoroso e completo, ma presenta alcune difficoltà di applicazione, quali:

- la necessità di informazioni dettagliate non sempre disponibili (per esempio disponibilità di curve di fragilità di apparecchiature di impianto diverse dai serbatoi atmosferici);
- la necessità di un gruppo di lavoro costituito da tecnici esperti in diverse discipline;
- l'elaborazione di calcoli complessi che richiedono elevata disponibilità di tempo.

Allo scopo di poter ottimizzare l'analisi, Cruz e Okada (2008) hanno sviluppato un metodo ad indici per una stima preliminare del rischio sismico e di inondazione nelle aree urbane, che considera le possibili interazioni tra gli stabilimenti industriali a rischio rilevante, le infrastrutture presenti, la popolazione esposta, gli elementi ambientali vulnerabili, la pianificazione di emergenza. I metodi di analisi semplificata consentono di effettuare una selezione preliminare di item di impianto e stoccaggio che, in caso di perdita di contenimento, determinano eventi incidentali di magnitudo significativa. Gli item così individuati saranno oggetto di analisi di rischio approfondite (Analisi *Na-Tech*).

Si fa notare che tali analisi potranno essere elaborate solo a seguito dell'effettuazione di quanto previsto all'Art. 2 - comma 3 dell'OPCM 3274/2003:

- censimento della vulnerabilità sismica
- analisi di livello 1-2: calcoli strutturali.

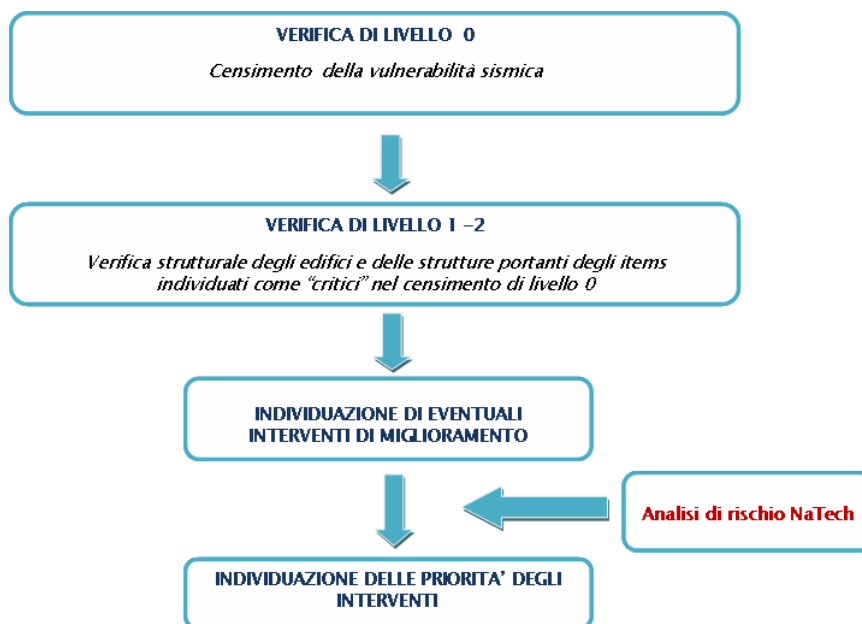


Fig. 4

## Edifici strategici e strutture imponenti

Si considerano le strutture presenti nella realtà industriale, il cui eventuale danneggiamento in caso di evento sismico, potrebbe comportare un pericolo immediato. Più specificatamente:

- le strutture imponenti, quali per esempio le ciminiere, il cui collasso potrebbe determinare il cedimento di apparecchiature circostanti definite critiche (cfr. Tupras Refinery);
- le strutture e gli edifici la cui funzionalità durante un evento sismico assume rilievo fondamentale ai fini degli interventi di emergenza (per esempio le rimesse antincendio, le sale controllo, gli edifici sede di unità di gestione dell'emergenza) e di pronto soccorso (infermeria);
- servizi ausiliari strategici per il contenimento delle conseguenze (per esempio, riserva idrica, stazione di pompaggio AI e relative tubazioni, E.E. di emergenza, ecc.).

## Criteri di riferimento per l'individuazione degli *item* di impianto / stoccaggio / movimentazione

Tali "criteri" fanno riferimento ai risultati delle analisi contenute nei Rapporti di Sicurezza:

1. Analisi dei risultati derivanti dall'applicazione dei Metodi Indicizzati applicati per gli impianti e stoccaggi degli Stabilimenti a rischio di incidente rilevante, in accordo al DPCM 31/03/1989 e decreti collegati (DM 20/10/1998 e DM 15/05/1996).  
Tale criterio viene applicato per tenere conto della pericolosità intrinseca degli items in funzione dei seguenti parametri e, conservativamente, in assenza dei sistemi di prevenzione, protezione e mitigazione installati:
  - caratteristiche delle sostanze contenute e relativo hold up;
  - rischi generali di processo (connessi con le condizioni di esercizio);
  - rischi particolari di processo (per esempio reazioni esotermiche, ecc.);
  - layout (congestione degli impianti, difficoltà di avvicinamento, ecc.).
2. *Item* contenenti prodotti classificati pericolosi per l'ambiente.  
Sono da considerarsi preliminarmente gli *item* il cui collasso può comportare l'inquinamento di acque superficiali:
  - serbatoi installati in bacini di contenimento non pavimentati e/o impermeabilizzati e contenenti sostanze classificate pericolose per l'ambiente in quantità tali da compromettere potenzialmente l'integrità delle acque superficiali, tenendo conto delle caratteristiche idrogeologiche dei siti (propensione dell'inquinante alla penetrazione nel terreno, come valutato nei rapporti di sicurezza);
  - pontili;
  - pipeway.
3. Scenari incidentali con effetti domino e/o effetti all'esterno dello Stabilimento.  
Sono da considerarsi preliminarmente gli *item* di impianto e stoccaggio che nei rapporti di sicurezza sono risultati essere possibile origine di eventi incidentali con conseguenze:
  - che si estendono oltre i confini di stabilimento;

- tali da dare origine, con frequenza di accadimento non trascurabile, a possibili effetti domino (estensione dell'evento incidentale primario ad apparecchiature limitrofe con estensione delle conseguenze, della stessa natura, o di natura differente).

Per gli *item* individuati (applicazione dei criteri 1, 2, 3), si procede all'applicazione del metodo speditivo di cui al DPCM del 25 Febbraio 2005. Tale metodologia viene utilizzata ai fini della pianificazione dell'emergenza esterna degli stabilimenti a rischio di incidente rilevante (per le quali gli scenari incidentali contenuti nei rapporti di sicurezza non risultano ancora validati dal CTR). Saranno determinate le prime due zone a rischio, denominate di "sicuro impatto" e di "danno". Mediante l'applicazione di tale metodologia di analisi vengono individuate "categorie degli effetti" conseguenti al rilascio dell'intero contenuto dell'apparecchiatura, che forniscono una indicazione preliminare del livello di rischio associato a ciascuna apparecchiatura. Ai fini dell'individuazione degli *item* critici di impianto e stoccaggio, saranno quindi definiti criteri di selezione a fronte dei risultati del Metodo Speditivo, in funzione del layout dello Stabilimento e della vulnerabilità delle zone circostanti lo Stabilimento (presenza di centri abitati, servizi strategici per la comunità, elementi ambientali vulnerabili).

### **Utilizzo dell'analisi Na-Tech**

Per uso "interno":

- redazione Piano di Emergenza Interno di Stabilimento,
- definizione delle "criticità" della propria realtà ai fini della prevenzione dei rischi di incidenti rilevanti,
- definizione degli obiettivi specifici ed i programmi di miglioramento per la prevenzione degli incidenti rilevanti,
- formazione, informazione sui rischi *Na-Tech* del Sito, ai lavoratori ed ai terzi che operano nello Stabilimento.

Per le autorità:

- redazione Piano di Emergenza Esterno,
- pianificazione territoriale (Piano regolatore),
- formazione, informazione alla popolazione sui rischi *Na-Tech*.

### **Bibliografia**

Cruz A. M. and Okada N.(2008). Methodology for preliminary assessment of Na-Tech risk in urban areas, *Nat. Hazards*, 46, 199–220.

## SISTEMI INNOVATIVI NELLA PROTEZIONE SISMICA DEGLI IMPIANTI RIR

Massimo Forni  
ENEA, GLIS & ASSISI

Si riassumono i risultati principali di 15 anni di progetti di ricerca internazionali mirati all'applicazione dell'isolamento sismico a due tipologie di impianti RIR: gli impianti petrolchimici e gli impianti nucleari.

Gli impianti petrolchimici sono sistemi molto estesi e complessi, che includono chilometri di tubazioni e decine di tipologie di serbatoi per lo stoccaggio di prodotti sia liquidi che gassosi in un vasto intervallo di pressioni e temperature (anche criogeniche). Esplosioni e incendi sono ovviamente gli incidenti più pericolosi per il rilascio di sostanze tossiche. Spesso, questi incidenti sono innescati da terremoti ed hanno effetti a catena: basta pertanto il collasso di un componente "debole" per causare una catastrofe. Generalmente i serbatoi per lo stoccaggio di prodotti grezzi o raffinati sono estremamente semplici dal punto di vista strutturale (cilindri di lamiera "sottile" poco più che "appoggiati" a terra o parzialmente interrati) e relativamente poco costosi. L'applicazione dell'isolamento sismico a tali serbatoi comporterebbe la realizzazione di grosse piastre di base (contrapposte a platee di fondazione) il cui costo, da aggiungersi a quello degli isolatori, supererebbe il valore del serbatoio e del suo contenuto. Fanno eccezione i serbatoi per lo stoccaggio di gas naturali liquefatti (LNG, Fig. 1) ed i serbatoi sferici (Fig. 2).

I serbatoi LNG sono strutture costose e complesse, formate da un serbatoio interno in acciaio criogenico ed una struttura più esterna di protezione (Fig. 1c) e possono essere realizzate con tecnologie tradizionali fino ad accelerazioni del terreno di 0.25 g. Per accelerazioni comprese fra i 0.25 e i 0.5 g è necessario aumentare gli spessori delle pareti ed ancorare i serbatoi alla fondazione; pertanto, l'isolamento sismico diventa competitivo. Per accelerazioni ancora superiori l'isolamento sismico resta l'unica tecnologia possibile (e anch'esso richiede l'ancoraggio del serbatoio alla piastra isolata). I dispositivi più usati per l'isolamento di queste strutture sono i *Friction Pendulum* (FPS, Fig. 1a), meglio noti in Italia come pendoli scorrevoli (o meglio isolatori a scorrimento con superficie curva), gli isolatori in gomma ad alto smorzamento (*High Damping Rubber Bearings* - HDRBs) o gli isolatori in gomma con anima di piombo (*Lead Rubber Bearings* - LRBs). Sono attualmente una trentina, a livello mondiale, i serbatoi LNG dotati di isolamento sismico:

- Revithoussa, Grecia, 2 serbatoi LNG di capacità 65,000 m<sup>3</sup> ciascuno (FPS).
- Inchon, Corea del Sud, 3 serbatoi LNG di capacità 100,000 m<sup>3</sup> ciascuno.
- Pyeong-Take, Corea del Sud, 10 serbatoi LNG.
- Aliaga, Turchia, 2 serbatoi LNG di capacità 140,000 m<sup>3</sup> ciascuno.
- Marmara Eriflisi tanks, Turchia, 3 serbatoi di capacità 85,000 m<sup>3</sup> ciascuno.
- Pampa Melchorita, Perù, 2 serbatoi LNG di capacità 130,000 m<sup>3</sup> ciascuno (FPS).
- Guangdong, Cina, 2 serbatoi LNG di capacità 160,000 m<sup>3</sup> ciascuno (360 HDRB).
- Manzanillo, Messico, 2 serbatoi LNG di capacità 150,000 m<sup>3</sup> ciascuno (HDRB).
- Mejillones, Cile, 1 serbatoio LNG (303 HDRB+ 208 LRB).



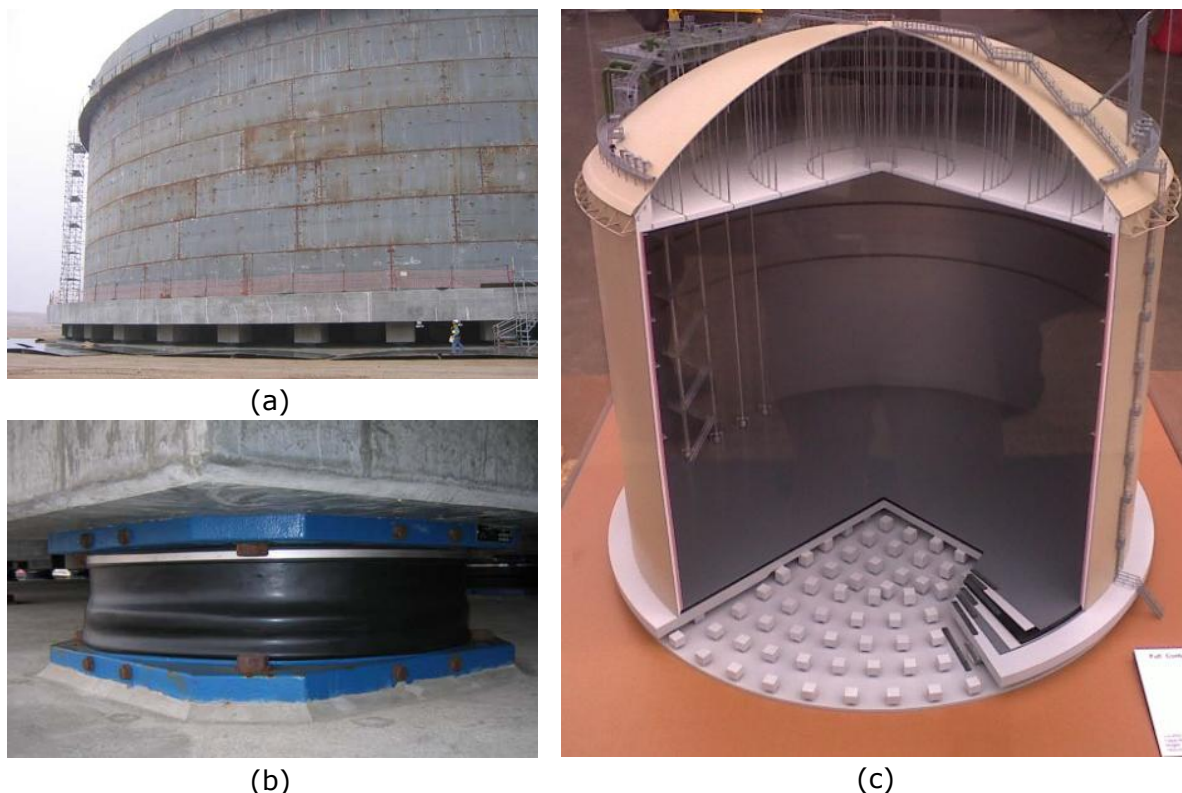


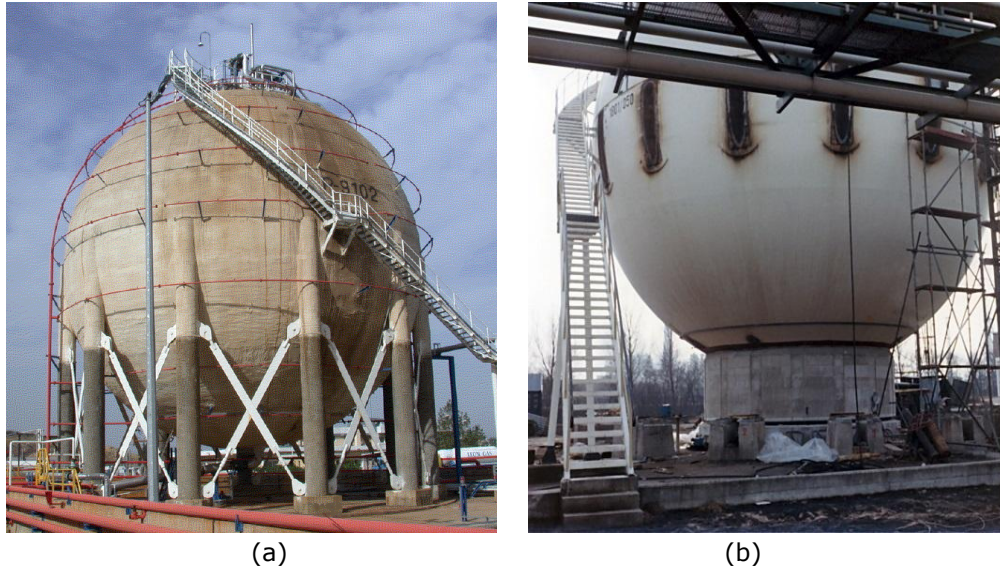
Fig. 1 Pampa Melchorita (Perù): (a) uno dei due serbatoi per lo stoccaggio di LNG da 130.000 m<sup>3</sup> sismicamente isolato con (b) tripli pendoli a scorrimento; (c) modello del serbatoio

Per quel che riguarda i serbatoi sferici, esistono attualmente due tipologie costruttive: l'interramento parziale fino a livello equatoriale e la sospensione su colonne, sempre a livello equatoriale (metodo *Horton*). La prima tipologia rende ovviamente impossibile l'uso dell'isolamento sismico che, peraltro, risulta difficoltoso anche nelle sfere realizzate col metodo *Horton*. Le colonne, che costituiscono il punto critico della struttura, sono in genere rinforzate con controventi di tipo tradizionale (cioè rigidi, Fig. 2a).

Potrebbero essere utilizzati anche controventi dissipativi, contenenti cioè dispositivi in grado di dissipare l'energia introdotta dal sisma nella struttura. Tali dispositivi sono comunque difficili da dimensionare correttamente, soprattutto in strutture a massa variabile come i serbatoi e, inoltre, sono piuttosto costosi. Chi scrive non è a conoscenza di applicazioni reali di dissipatori energetici a serbatoi sferici.

D'altra parte, l'inserimento di isolatori sismici alla base delle sfere è comunque problematico e richiederebbe la costruzione di una piastra (o di un anello) molto rigido. Anche in questo caso, non esistono applicazioni. È però da notare che, recentemente, una società Svizzera (il *Tecni System Institute*) ha brevettato un sistema che permette l'eliminazione delle colonne (la cui presenza comporta svariati problemi non solo in caso di terremoto, ma anche dei confronti di dilatazioni termiche e cedimenti del terreno). I serbatoi sferici sono posti direttamente su di una base al di sotto della quale è facile inserire gli isolatori sismici (Fig. 2b). Attualmente sono state realizzate oltre 50 applicazioni di tale nuovo sistema in paesi (Germania e Svizzera) dove la bassa sismicità non richiede l'isolamento sismico (sono però allo studio applicazioni in Turchia).

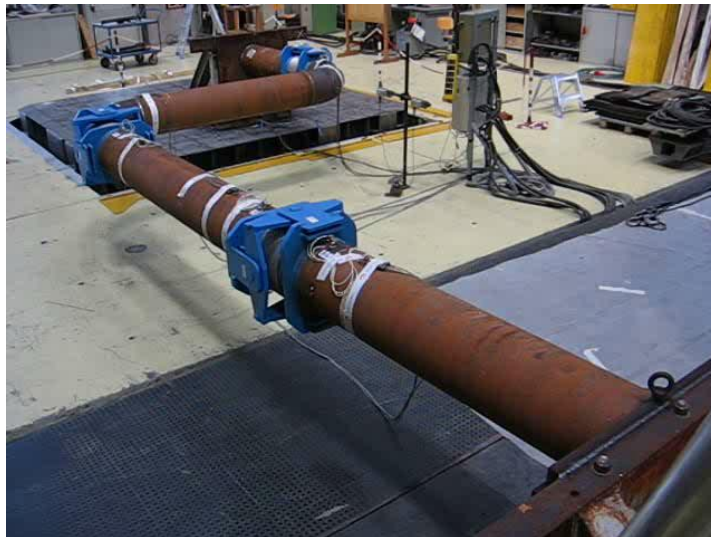




*Fig. 2 Serbatoi sferici realizzati col metodo Horton (supporto equatoriale su colonne): (a) esempio di rinforzo con controventi rigidi; (b) eliminazione delle colonne ed inserimento di una base centrale sotto cui sono facilmente inseribili gli isolatori*

Ovviamente, nel caso di isolamento di un qualunque componente, a causa dello spostamento relativo fra terreno e serbatoio isolato che si genera durante il terremoto, occorre dotare di opportuni giunti di dilatazione le tubazioni in ingresso e uscita (Fig. 3).

Maggiori informazioni sull'isolamento sismico di impianti chimici si trovano in Martelli et al. (2002), Gatti et al. (2003) e Forni et al. (2006).



*Fig. 3 Tratto di tubazione in scala reale dotata di 2 giunti cardanici ed uno angolare in grado di assorbire spostamenti relativi di 80 cm (Progetto INDEPTH, 2002)*

Le centrali nucleari vengono considerate gli impianti a maggior rischio di incidente rilevante. In realtà nessun reattore nucleare è mai stato seriamente danneggiato da un terremoto. Si ricorda, infatti, che a Fukushima i reattori erano stati regolarmente spenti e messi in sicurezza dopo il terremoto (come del resto quelli di tutte le altre centrali Giapponesi), mentre i danni furono causati dalla conseguente ondata anomala (e da una

concezione impiantistica vecchia di mezzo secolo che prevedeva di posizionare a cielo aperto e in riva all'oceano più grande del pianeta i serbatoi di gasolio per l'alimentazione delle pompe di emergenza). Anche a Kashiwazaki (Giappone, l'impianto nucleare più grande del mondo) il terremoto del 2007 (2-3 volte più energetico di quello assunto a progetto) ha causato la chiusura dei 7 reattori per 3 anni (con danni economici enormi), ma nessun rilascio di materiale radioattivo.

Al contrario degli impianti chimici, le centrali nucleari hanno una maggiore robustezza nei confronti delle azioni sismiche, dovuta al fatto che le stesse strutture devono assolvere altri compiti, come contenere le radiazioni, resistere ad esplosioni interne o esterne, a cadute d'aereo, ad impatti di missili, a forti venti, ecc. Per questi motivi, solo due delle quasi 500 centrali nucleari ad oggi realizzate nel mondo, sono state dotate di isolamento sismico (4 reattori PWR a Cruas, Francia - Fig. 4 - e 2 a Koeberg, Sud Africa, risalenti ai primi anni '80).



*Fig. 4 La centrale di Cruas, Francia, primo esempio di applicazione dell'isolamento sismico in campo nucleare (reattori entrati in esercizio nel 1983-84; isolatori progettati, realizzati ed installati negli anni '70)*

La situazione è comunque in rapida evoluzione grazie ai più severi standard di sicurezza imposti per i reattori di III e IV Generazione. Infatti, il Jules Horowitz Reactor, un reattore sperimentale attualmente in costruzione a Cadarache (Francia) è dotato di isolamento sismico (Fig. 5), così come lo sarà la macchina a fusione nucleare ITER, in costruzione nello stesso sito francese.

Oggi, tutti i reattori di nuova concezione prevedono l'isolamento sismico e tutti i nuovi progetti di ricerca europei hanno task specificatamente dedicate allo sviluppo di isolatori sismici di grosse dimensioni e con gli elevati standard di sicurezza richiesti. Fra questi è da citare SILER (*Seismic-Initiated events risk mitigation in LEad-cooled Reactors*), il primo progetto Europeo espressamente dedicato all'isolamento sismico delle centrali nucleari. SILER, che è coordinato dall'ENEA, si propone analizzare tutte le problematiche relative all'applicazione dell'isolamento sismico a strutture così peculiari. Saranno progettati e realizzati isolatori di grosse dimensioni (1.3 ÷ 1.6 m di diametro), che saranno poi testati in scala piena, fino a rottura, con carichi dinamici triassiali. Saranno realizzati e testati in scala piena giunti di dilatazione per tubazioni contenenti fluidi ad alta temperatura e pressione. Infine, saranno redatte linee guida per la progettazione, costruzione, qualifica, installazione e manutenzione degli isolatori e ogni altro componente necessario (giunti, fine corsa antisismici, ecc.). SILER si riferisce in particolare ai reattori al piombo di IV Generazione ELSY e MYRRHA (Fig. 6).

Maggiori informazioni sull'isolamento sismico di impianti nucleari si trovano nei testi citati in bibliografia.

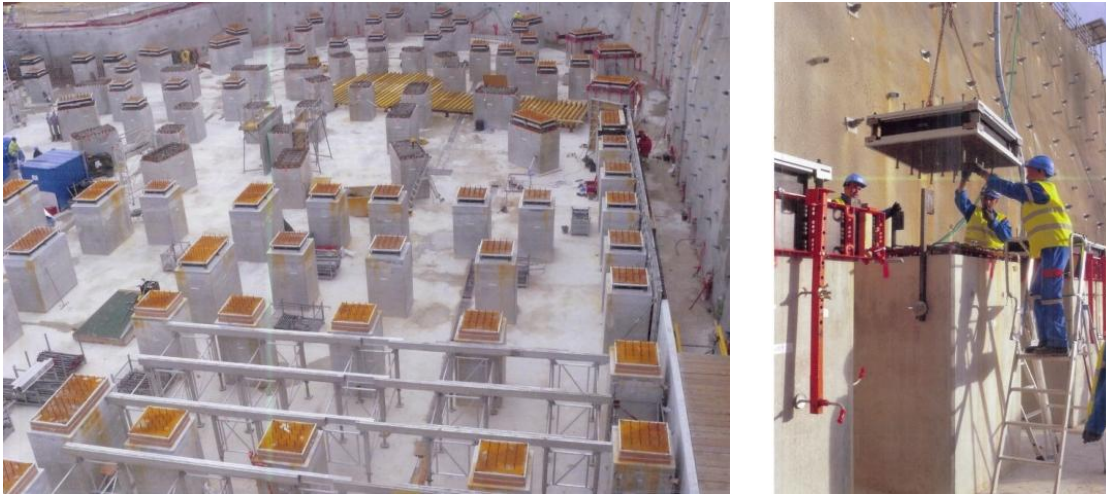


Fig. 5 Jules Horowitz Reactor (Cadarache, Francia); fasi di installazione degli isolatori (realizzati da NUVIA, partner del progetto SILER)

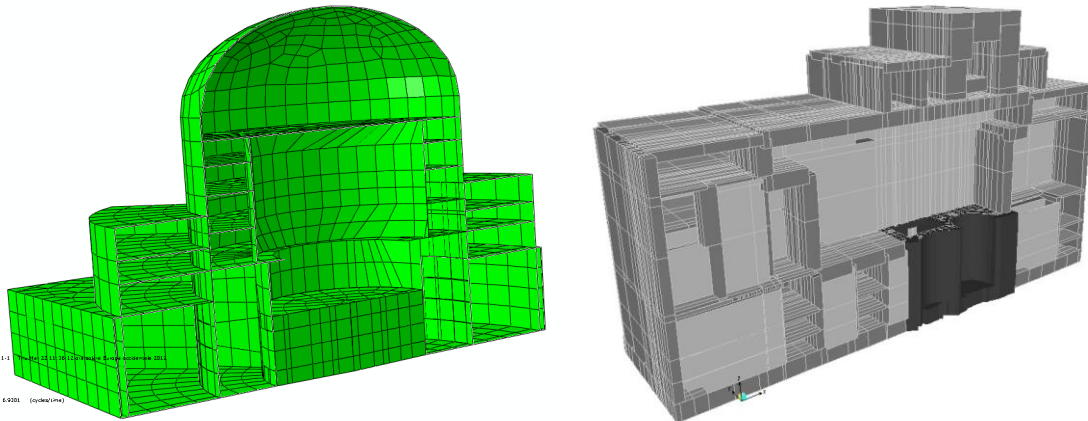


Fig. 6 Modelli agli elementi finiti degli edifici reattori di ELSY e MYRRHA il cui sistema di isolamento è stato progettato in SILER

## Bibliografia

- Bergamo G., Bianchi F., Castellano M.G., Forni M., Poggianti A. (2011). "Testing of elastomeric isolators for nuclear power plants", *The Structural Engineers World Congress 2011* (Villa Erba, Como, Italy, April 4-6).
- Bongiovanni G., Clemente P., Forni M., Martelli A., Saitta F. (2011). "Principi dell'isolamento sismico e applicazioni in campo nucleare", *Energia, Ambiente e Innovazione*, No. 1-2, pag. 21-25, ENEA, Roma.
- Forni M. (2011). "La Sicurezza Sismica negli Impianti Nucleari e la Lezione di Fukushima", Capitolo 9 del libro *L'Atomo a scuola*, Edizioni 21° Secolo, Milano, Novembre.



- Forni M. et al. (2009). "Seismic Isolation of the IRIS Nuclear Plant", *Proceedings of the 2009 ASME Pressure Vessel and Piping Conference, PVP 2009*, Prague, Czech Republic (July 26-30).
- Forni M. and De Grandis S. (2012). "SILER: Seismic-Initiated events risk mitigation in LEad-cooled Reactors", *Proceedings of ICAPP '12* (Chicago, USA, June 24-28), Paper 12423.
- Forni M. and De Grandis S. (2012). "Seismic-Initiated events risk mitigation in LEad-cooled Reactors: the SILER Project", *Proc. of the 15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE, Lisbon, Portugal, 24-28 September)*.
- Forni M. and Poggianti A. (2011) "Seismic Isolation of Nuclear Power Plants", *The Thirteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing (Chania, Crete, Greece, 6-9 September)*.
- Gatti F., Dorfmann L., Poggianti A., Castellano M. G., Marti J., Summers P., Karabalis D., Skandalis N., Silbe H. (2003). "The EC-funded project INDEPTH", *8th World Seminar on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structure* (Yerevan, Armenia, October 6-10).
- Forni M., Poggianti A., Bergamo G. (2006). "Shaking Table Tests On A Spherical Tank Mock-Up Provided With Seismic Isolation And Flexible Piping Connections", *Proc. of PVP2006-ICPVT-11, 2006 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference* (Vancouver, BC, Canada July 23-27).
- Lo Frano R., Forasassi G., Poggianti A., Forni M. (2011). "Seismic safety margin of an isolated SMR reactor under severe earthquake", *Proceedings of the ASME 2011 Small Modular Reactors Symposium SMR2011*, Paper 6578 (Washington, DC, USA, September 28-30).
- Martelli A., Muzzarelli M., Forni M., Poggianti A., and Spadoni B. (2002). "Valutazione dell'Applicabilità dell'Isolamento Sismico alla Protezione Sismica di Impianti Industriali (ISI)", *Atti del Convegno VGR 2002 "Valutazione e Gestione del Rischio negli Insedimenti Civili ed Industriali"*, Seminario Annuale del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Rischi Chimico, Industriali ed Ecologici (Pisa, Italy, October).

## ATTREZZATURE SPERIMENTALI PER LA QUALIFICAZIONE DI DISPOSITIVI ANTISISMICI PER GLI IMPIANTI RIR

Alessandro De Stefano  
*Politecnico di Torino & GLIS*

Alessandro Martelli  
*GLIS & ASSISi*

L'attrezzatura per prove dinamiche multidirezionali (APDIM) di cui si tratta ha molti caratteri propri delle tavole vibranti, ma li integra con proprietà specifiche che la rendono unica e le conferiscono flessibilità di impiego molto maggiore e enorme estensione dei limiti di operatività. Le tavole vibranti sono piattaforme rigide orizzontali, predisposte per fissarvi gli oggetti da sottoporre a sperimentazione. Vengono messe in movimento da dispositivi oleodinamici e che, grazie a sofisticati sistemi di controllo automatico, sono in grado di simulare il movimento che un terremoto intenso imprime alla fondazione di strutture e componenti industriali.

Una tavola vibrante può essere progettata per muoversi secondo uno o più gradi di libertà indipendenti. Una tavola che dispone di un solo grado di libertà può agire con moto di pura traslazione, normalmente lungo una sola direzione orizzontale. All'estremo opposto, una tavola con sei gradi di libertà può imprimere all'oggetto portato due traslazioni orizzontali ortogonali, uno scuotimento verticale, torsione intorno all'asse verticale, beccheggio e rollio. APDIM è pensata come replica opportunamente aggiornata e modificata della attrezzatura SRMD (*"Seismic Response Modification Devices"*), costruita all'Università della California a San Diego (UCSD) grazie ad un contratto dell'Università con il Ministero dei Trasporti californiano (*Caltrans*). La SRMD è, essenzialmente, una tavola vibrante con capacità meccaniche eccezionalmente elevate, illustrate nella Tab. 1, sistema di controllo molto accurato ed efficiente e strutture di contrasto di elevata capacità portante.

*Tab. 1 Caratteristiche dell'attrezzatura SRMD*

Component	Capacity	Accuracy of Application	Accuracy of Readout
Vertical Force	53,400 kN (12,000 kips)	±5%	0.5% full range
Longitudinal Force	8,900 kN (2,000 kips)		1.0% full range
Lateral Force	4,450 kN (1,000 kips)		1.0% full range
Vertical Displacement	±0.127 m (5 in.)	±2%	1.0% full range
Longitudinal Displacement	±1.22 m (48 in.)	±2%	1.0% full range
Lateral Displacement	± 0.61 m (24 in.)	±2%	1.0% full range
Vertical Velocity	±254 mm/s (10 in/s)	±10%	
Long. Velocity	±1,778 mm/s (70 in/sec)	±10%	
Lateral Velocity	±762 mm/s (30 in/sec)	±10%	
Height of Specimen	Up to 1.52 m (5 ft)		
Relative Platen Rotation	±2°		

Caratteristiche altamente innovative sono, dunque:

- altissimo carico verticale simulante la massa della struttura,
- altissimo spostamento massimo ( $\geq 1$  m),
- altissima velocità massima di applicazione dei carichi ( $\geq 1.8$  m/s).

APDIM sarà progettata in collaborazione con l'Università della California a S.Diego ed il laboratorio sismico nazionale di TAIWAN (NCREC, Taipei). Le tre istituzioni che collaboreranno al progetto resteranno collegate in network per creare sinergie in progetti di ricerca e di servizio.

### Perché il progetto APDIM

Esperienze recenti hanno evidenziato una sostanziale inadeguatezza delle normative che governano le prove di accettazione e, soprattutto, di qualificazione degli isolatori sismici, di quelli a scorrimento in particolare.

Senza scendere in eccessivi dettagli, la norma italiana NTC 2008 contempla solo prove monodirezionali cicliche, lente, con spostamenti impressi a crescita lineare a bassissima velocità, oppure prove dette "dinamiche" che prevedono storie di spostamento impresso sinusoidale con periodo del ciclo prossimo a quello di progetto della sovrastruttura isolata.

La norma europea EN 15129 non differisce di molto, ma consente anche prove sinusoidali bidirezionali nel piano orizzontale con una composizione dei moti "a quadrifoglio" (*clover leaf*) come illustrato nella Fig. 1. La prova Clover Leaf ottiene risultati in qualche misura diversi da quella monodirezionale, soprattutto per i dispositivi a scorrimento e per la misura dei coefficienti di attrito.

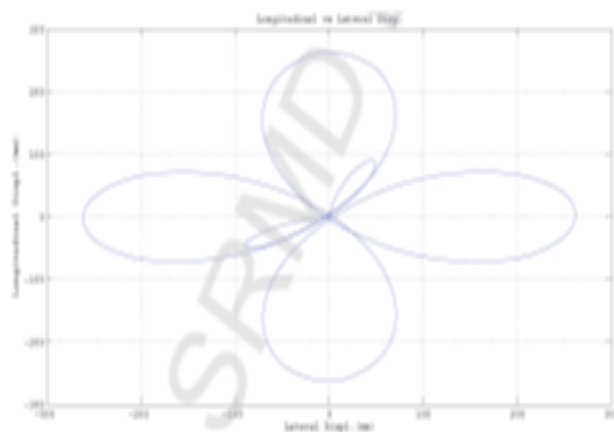


Fig. 1 Composizione dei moti "a quadrifoglio" (*clover leaf*)

Le prove sinusoidali, però, sia monodirezionali che bidirezionali non prevedono variazioni dinamiche del carico verticale e non rappresentano fedelmente il comportamento del dispositivo sotto sisma. Si veda, per esempio, in Fig. 2, la simulazione di un sisma reale, ovvero la proiezione sul piano orizzontale della combinazione di due componenti di spostamento relativo delle piastre di ancoraggio di un isolatore estratte dalle registrazioni del terremoto dell'Aquila.

Il moto relativo tra le piastre di un isolatore è determinato dalla differenza tra il moto quasi sinusoidale della struttura isolata ed il moto più vario e multi-componente della fondazione che traspette per intero l'azione del sisma.

Le macchine di prova in uso in Europa e in buona parte del resto del mondo non hanno la possibilità di simulare un vero terremoto su dispositivi in scala reale. La norma tecnica, quindi, si adegua. La disponibilità di un'attrezzatura come APDIM potrebbe direttamente influenzare revisioni normative importanti in senso altamente positivo e raccomandabile.

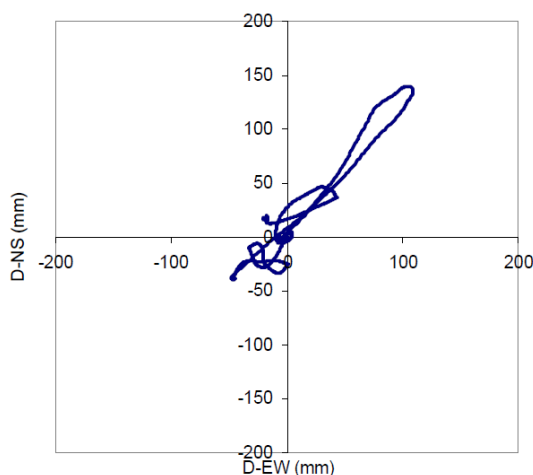


Fig. 2 Spostamento relativo delle piastre di ancoraggio di un isolatore

## Investimento

L'attrezzatura SRMD è costata circa 16 milioni di dollari nel 2000 e, grazie al contratto con *Caltrans*, si è ripagata in due anni. È ragionevole prevedere che APDIM possa raggiungere i 22-23 milioni di euro. In via transitoria è prevedibile un fabbisogno di circa 400.000 euro per avviare le varie fasi di progettazione, dal preliminare al cantierabile. Il costo di gestione dipenderà molto dalla intensità del lavoro. La vicinanza di un'istituzione universitaria tecnica potrebbe facilitare la gestione nella fase di avvio.

Esistono due fonti di ritorno economico: i progetti di ricerca (nazionali, europei, internazionali) e le commesse commerciali. Per quanto riguarda le commesse commerciali, la possibile committenza va cercata, in ambito almeno europeo, nelle applicazioni d'ingegneria antisismica civile ed industriale, nei problemi d'impatto, nell'industria aerospaziale, ferroviaria, automobilistica, ecc. Ecco, nel seguito, un'analisi delle ragioni: l'insediamento in un territorio esposto a rischio sismico di centrali nucleari od impianti chimici RIR richiede accurate e severe verifiche di sicurezza su strutture e componenti, a causa del potenziale, devastante impatto ambientale che un incidente comporterebbe; la SRMD, modello di riferimento per APDIM, grazie alla sua potenza e versatilità, ha ottenuto non solo commesse per prove su dispositivi antisismici di vario tipo, ma anche commesse industriali importanti per prove su componenti esposti a sollecitazioni dinamiche intense, su oggetti come carrelli di grandi aeroplani di linea, pale di generatori eolici, carrelli ferroviari, ecc.; la SRMD ha dovuto subire modifiche per affrontare sperimentazioni di tale natura. APDIM, grazie a quelle esperienze, può nascere già pronta per simili estensioni applicative.

L'UCSD, che gestisce la SRMD, ed il NCREC sono enti di natura pubblica e svolgono ricerca e servizio. Soltanto con una veste affine il laboratorio italiano potrà fare *network* con tali enti ed ottenere a condizioni vantaggiose i progetti dell'installazione di San Diego. Essere laboratorio di ricerca comporta la necessità di dare priorità a progetti finanziati nazionali, europei e internazionali in ambito più ampio. Un laboratorio pubblico può fornire anche servizi ad enti e società pubbliche e ad imprese: è però fondamentale che le imprese che usufruiscono del servizio del laboratorio non facciano parte del soggetto giuridico che lo gestisce. Se ne facessero parte, infatti, il laboratorio sarebbe "targato", in sostanza una sorta di laboratorio aziendale e perderebbe clienti potenziali tra le aziende concorrenti. Il laboratorio deve conservare, quindi, un carattere di terzietà. La terzietà rappresenta, per il laboratorio, anche un carattere importante nella partecipazione alla definizione e stesura condivisa di norme tecniche nazionali ed europee, che, a loro volta, sono estremamente importanti per giustificare l'investimento ed alimentarne la redditività.

Infine, occorre sottolineare che ricerche e servizi devono fornire risorse per ripagare l'investimento in un tempo ragionevole.



## **IL RUOLO DELLE ISTITUZIONI**

Antonio Vizzaccaro

*Ufficio di Presidenza dell'VIII Commissione Permanente Ambiente, Territorio e Lavori Pubblici della  
Camera dei Deputati*

Nel più ampio contesto della prevenzione e della mitigazione dei danni provocati dai terremoti, in qualsiasi area antropizzata esista un seppur minimo valore del rischio sismico, uno dei principi basilari, che andrebbe sempre ed irrinunciabilmente adottato, dovrebbe essere quello di fornire alle persone che vivono in tali territori, oltre a tutti gli elementi d'informazione e di conoscenze atti a renderli consapevoli che il loro ambiente può essere soggetto a fenomeni sismici, anche – e soprattutto – i necessari meccanismi di comportamento che, in caso di evento, consentano loro di gestire in maniera efficace le relative circostanze critiche od emergenziali. Banalmente, potremmo affermare che una persona consapevole e culturalmente formata sulla gestione del rischio sismico può essere altrettanto indispensabile al sistema di prevenzione e di interventi di quanto lo siano le vigenti norme sulla sicurezza sismica, ciò soprattutto al fine di ridurre o, addirittura, prevenire i danni connessi al terremoto.

È, infatti, da presumere che un pubblico sufficientemente edotto su queste tematiche sarà naturalmente portato ad intraprendere azioni occorrenti alla prevenzione dei danni (costruzioni delle case più sicure, manutenzioni volte al miglioramento sismico, ecc.), ma sarà anche in grado di vigilare con cognizione di causa sulle scelte che l'ambiente civile esterno effettua sulla gestione del territorio e, conseguentemente, potrà accertare se queste scelte possano essere negative per quanto riguarda la sicurezza sismica del luogo in cui vive, sia dal punto di vista del rischio diretto, sia da quello del rischio indotto (realizzazione o non verifica di opere pubbliche insicure come le scuole, rischi da eventi naturali, ecc.).

Questa considerazione mi appare ad ogni modo d'obbligo in special modo per concorrere a dare una risposta alternativa ad un grave problema tutt'ora esistente nella cultura politica e tecnica che vige nelle istituzioni competenti del paese, ossia la scarsa propensione ad adottare politiche d'intervento per la messa in sicurezza e per la prevenzione dei rischi sismici, adducendo come motivazione dell'inerzia il fatto che una tale opzione costerebbe troppo, sia per il bilancio pubblico, sia per i cittadini. Pertanto si preferisce seguire un approccio alla sicurezza basato principalmente su principi e su precetti indicati dalle leggi, piuttosto che sulla promozione e sostegno di misure operative da far eseguire volontariamente dai singoli.

Vorrei al riguardo riportare un'interessante dichiarazione resa dal prof. Antonello Salvatori, docente di Tecnica delle Costruzioni, Costruzioni in Zona Sismica e Costruzioni Speciali Civili all'Università degli Studi dell'Aquila, nel corso della sua audizione del 30 maggio 2012 presso l'VIII Commissione Ambiente, Territorio e Lavori Pubblici della Camera dei Deputati nell'ambito della "Indagine conoscitiva sullo stato della sicurezza sismica in Italia", da cui si comprende quale sia, a malincuore, la scelta obbligata che anche i professionisti della sicurezza sismica sono orientati a prendere a causa della

manca di opzioni alternative o complementari. Così si esprime il prof. Salvatori: ".....  
*La popolazione non è in grado di valutare il costo e, quindi, dobbiamo darle noi l'input. L'unico input che abbiamo è la legislazione, cioè l'obbligo, perché la popolazione non capisce altro. Vi cito un esempio. Io sono molto coinvolto in numerose fasi della ricostruzione a L'Aquila. Lo Stato eroga contributi per ripristinare gli edifici, per riparare i danni, ma anche per migliorarli sismicamente, il che è un investimento per i prossimi eventi sismici. Che cosa vede la gente di questi finanziamenti? La gente non si rende conto del miglioramento sismico, non lo comprende neanche dopo aver subito un forte terremoto. La gente pensa non dico alla mattonella, ma al cappotto termico, all'isolamento termico, cioè a questioni che sono anche obblighi legislativi, perché sono dettati da alcune leggi del 2006, ma su cui riesce ad avere un contatto più tangibile, perché magari la bolletta energetica diventa più bassa. Per l'input sismico non è così e, quindi, l'obbligo deve avvenire per mezzo di un decreto o di una legge che lo imponga ai progettisti, in quanto non tutti hanno la stessa sensibilità".*

Ciò premesso, considero assai positivo l'esito scaturito dalle relazioni esposte nel corso della terza sessione del convegno. Anzitutto, ritengo di notevole valore l'approccio che sulla sicurezza sismica si sta sviluppando presso l'*Urban Center* di Ferrara, in seno al programma di coinvolgimento delle popolazioni sugli aspetti della gestione degli eventi sismici sopra richiamati. In sintesi, potrei affermare che a Ferrara si stanno costruendo le basi per far nascere e sviluppare, anche a livello nazionale, una positiva e solida cultura sociale della gestione del rischio sismico, attraverso criteri partecipativi che considerano l'informazione, la promozione del dibattito, la fornitura di strumenti di approfondimento e la diffusione della consapevolezza della complessità del tema, nonché lo sviluppo di atteggiamenti cooperativi che portino alla costruzione di strategie d'intervento e di gestione condivise. È questo un formidabile criterio di crescita culturale che certamente può concorrere a rendere meno inderogabile ed univoco il pur necessario obbligo di fornire per il solo tramite delle leggi il predetto "input" per agire verso la sicurezza sismica.

Altrettanto confortanti possono essere considerati gli scenari che, in tema di gestione e di prevenzione dei RIR, sono emersi dalle relazioni fornite dall'ing. Fabio Dattilo del Dipartimento dei Vigili del Fuoco del Ministero dell'Interno e dall'ing. Francesco Geri Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio. Ci ha colpito assai favorevolmente l'aver accertato quanto siano elevati gli *standard* di conoscenze e di preparazione che detengono le istituzioni statali competenti in materia di gestione dei RIR, segnatamente nel campo dell'individuazione, valutazione, mitigazione e governo dei pericoli (gravi, immediati o differiti a seconda del caso), che i differenti scenari di incidenti rilevanti possono provocare per la salute umana o per l'ambiente. Al riguardo, tralasciando per sola necessità di sintesi le ulteriori questioni trattate dai predetti relatori, mi preme sottolineare che devono essere accolte con estremo favore le capacità sistemiche che caratterizzano i comportamenti messi in atto dalle competenti strutture del Dipartimento dei VVF nell'ambito delle attività di valutazione della sicurezza che i gestori degli impianti RIR devono garantire in caso d'incidente. Ci è stato mostrato come il Dipartimento riesca con estrema responsabilità a colmare l'attuale vuoto normativo sulla sicurezza sismica che esiste nel settore degli impianti RIR e ciò in quanto l'ordinamento applicabile non impone regole specifiche di progettazione, costruzione e adeguamento antisismici per i predetti impianti.

È, pertanto, in questi casi che il Dipartimento indica di richiedere nella valutazione dei rapporti di sicurezza, seppure non esplicitamente contemplato, che la progettazione, la costruzione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti, dei depositi, delle attrezzature e delle infrastrutture e di ogni altro componente impiantistico soggetto a rischio di incidente, siano ad ogni modo conformi alle norme tecniche per le costruzioni in presenza di azioni sismiche, se del caso traslandole da altre discipline analoghe. Si tratta di un criterio rigoroso ma che, a giudizio dello scrivente, appare oltremodo responsabilizzante per il personale di cui trattasi, perché ad esso sono richieste responsabilità giuridiche da cui sarebbe altrimenti sollevato, proprio perché vi è un vuoto normativo.

Ritengo perciò pertinente – e ad ogni modo urgente – l'approvazione di una normativa specifica per la sicurezza sismica degli impianti RIR, sia per una necessaria certezza del diritto sia per non dovere pretendere dalle responsabilità operative dei singoli l'opportunità di mutuare da altre discipline tecniche le misure da adottare per avere, anche in questo settore, le dovute garanzie in materia antisismica.

Con altrettanto favore deve essere giudicato il livello di preparazione di cui dispone il DPC in materia di prevenzione e di gestione dei rischi di incidenti tecnologici connessi ai fenomeni naturali (*Na-Tech*), tra cui gli eventi sismici. Il grado di conoscenze specifiche su cui si muovono le strutture competenti del DPC è senz'altro commisurato alla complessità di questo specifico settore. Giudichiamo positivamente il metodo d'analisi con cui si valutano non solo gli impianti che possono essere colpiti dal terremoto, ma anche tutti i relativi componenti, infrastrutture ed organi che vi si connettono per garantirne il funzionamento cui essi sono finalizzati. La valutazione del rischio sismico degli impianti RIR e dei corrispondenti componenti è, per il DPC, uno dei principali fatti generatori della pianificazione degli interventi da mettere in campo per prevenire, o in caso lo si debba, fronteggiare un'emergenza che derivi da cedimenti o da interruzioni delle reti logistiche, delle infrastrutture strategiche e di ogni altra opera impiantistica i cui effetti potrebbero essere danni irreparabili per l'uomo e per l'ambiente. È su queste basi che il DPC fornisce ai responsabili territoriali, in maniera coerente ed efficace, gli indirizzi per la pianificazione e per l'attuazione delle misure di mitigazione in riferimento agli eventi *Na-Tech* sugli impianti RIR.

Ritengo che il quadro di esperienze e di conoscenze possedute dai soggetti che hanno dato vita a questa sessione dei lavori non debba in alcun modo andare disperso, ma anzi debba essere valorizzato e reso fruibile. Auspico senz'altro, anche al fine di assicurare una visione il più completa possibile ai responsabili politici e governativi che si occupano e che si occuperanno di tale materia, che si riuniscano in una unica sede tecnica di concertazione tutti gli attori istituzionali sopra citati, insieme agli enti scientifici dotati di particolari competenze al riguardo, in special modo all'ENEA, affinché si possano elaborare e formulare i contenuti di una prossima normativa di settore. Si tratta di dati e di criteri che una normativa sulla sicurezza sismica per gli impianti RIR deve necessariamente contemplare per conseguire una chiara ed efficace disciplina di settore.



## **COSTRUIRE LA PERCEZIONE DEL RISCHIO SISMICO: CONOSCENZA, INFORMAZIONE E PARTECIPAZIONE**

Chiara Porretta  
*Urban Center Ferrara*

Edi Valpreda  
*ENEA C.R. Bologna*

È possibile coinvolgere le comunità quando si parla di rischio sismico? Perché? Come?

Un sistema sociale organizzato, in grado di fronteggiare l'emergenza e di attivare efficaci misure di prevenzione, non soltanto fa la differenza in termini di riduzione delle perdite e dei danni causati da un evento sismico, ma è anche uno strumento efficace e concreto per mettere in sicurezza il proprio ambiente di vita e per farlo fin da subito.

Prima di parlare di coinvolgimento degli abitanti, però, bisogna concordare sul fatto che, per avviare efficaci operazioni di prevenzione sismica, è necessario insistere sulle pratiche quotidiane, sulle abitudini e sugli usi della vita di tutti i giorni, riflettere sui grandi risultati che si possono ottenere a partire proprio dalle più piccole attenzioni quotidiane, considerare il terremoto non come un evento straordinario, ma come una caratteristica ordinaria e intrinseca dell'esistenza di alcuni territori.

Ma come si può arrivare ad una concreta partecipazione della popolazione in misure di prevenzione e gestione dell'emergenza? Innanzitutto occorre "costruire" la percezione del rischio. La percezione cambia da soggetto a soggetto e dipende dalla conoscenza che si ha sulla rilevanza del potenziale danno e sul valore che si attribuisce al bene che può essere danneggiato o perso. Essendo la conoscenza necessariamente incerta e indeterminata e variando il valore su base etica, sociale, storica e geografica, la percezione del rischio è, dunque, per sua stessa definizione, soggettiva. Per questo, è necessario concentrare l'attenzione sul fatto che la percezione del rischio non può essere considerata una premessa implicita, ma il risultato di una precisa operazione di "costruzione".

La percezione del fenomeno però, da sola non può bastare a prefigurare dei comportamenti corretti, utili a limitare danni a persone e cose, deve essere considerata all'interno di un sistema di operazioni più complesse, in grado di fornire agli abitanti la conoscenza adeguata dello stato del proprio territorio, la giusta informazione sul rischio e sulla gestione dell'emergenza e, infine, la possibilità di intervenire in prima persona nella messa in sistema di procedure, pratiche e progetti di prevenzione del danno sismico.

Questo è quanto l'ENEA, in collaborazione con un Laboratorio giapponese di prevenzione sismica partecipata, lo *Shigeru Satoh Laboratory* dell'Università *Waseda* di Tokio (Fig. 1), sta valutando con un progetto sperimentale a cura dell'*Urban Center* del Comune di Ferrara, servizio pubblico per il coinvolgimento degli abitanti nelle trasformazioni urbane della città.

Grazie ai fondi della Regione Emilia-Romagna per la partecipazione, il Comune di Ferrara sta per avviare un percorso partecipato che intende coinvolgere un gruppo di cittadini del centro storico nella definizione di buone pratiche quotidiane di prevenzione del danno sismico, in collaborazione con tecnici, esperti, specialisti e associazioni cittadine. Un caso pilota, con il quale mirare a porre le basi per l'implementazione di un sistema sociale organizzato in grado di dominare il rischio sismico e il rischio integrato e ad essi rispondere. Un'idea, che, nata sull'onda emozionale degli eventi sismici del 20 e del 29 maggio 2012 in Emilia, si pone, grazie al sostegno dell'ENEA, come una potenziale premessa per lo sviluppo di queste considerazioni in altre comunità e a livello nazionale, perché anche in questo paese si può fare prevenzione sismica e la si può fare da subito.



Fig. 1 Shigeru Satoh Laboratory a Tokio, un laboratorio di pre-ricostruzione sismica partecipata



## LA CONTINUITÀ IMPIANTISTICA IN CASO DI SISMA

Fabio Dattilo

Ministero dell'Interno, Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile

### Localizzazione delle attività a rischio di incidente rilevante in relazione alla classificazione sismica del territorio italiano

Se si confronta la localizzazione degli impianti soggetti al Decreto Legislativo n. 334/99 con la classificazione sismica del territorio italiano indicata nelle Ordinanze della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 e n. 3519 del 28/04/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" relativamente alle zone 1, 2 e 3 (si trascura la zona 4, a sismicità molto bassa, per la quale era lasciata facoltà alle singole regioni di introdurre o meno l'obbligo della progettazione antisismica) si ricavano alcuni dati interessanti, che fanno riflettere sulla rilevanza del problema. Secondo tale classificazione, 4613 comuni ricadono nelle prime tre zone sismiche, pari al 56,9% del totale. Di questi 708 sono in zona 1, 2345 in zona 2 e 1560 in zona 3.

La Tab. 1 riporta il numero e la percentuale degli stabilimenti Seveso nelle prime 3 zone sismiche. La Tab. 2 mostra la distribuzione degli stabilimenti Seveso nelle varie regioni italiane. Si osserva che alcune regioni, in particolare nell'Italia centrale e meridionale, hanno quasi la totalità di impianti nelle prime tre zone sismiche (Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Lazio, Marche, Molise, Sicilia, Toscana, Umbria). Le regioni con il maggior numero di impianti in zona sismica sono l'Emilia Romagna (103), la Campania (79), la Sicilia (75), seguite da Lazio (74) e Toscana (57). La Lombardia, che è la regione con il maggior numero di impianti industriali a rischio di incidente rilevante (276), ne ha 59 nelle prime 3 zone sismiche.

Nella Fig. 1a è riportata la localizzazione delle aziende Seveso (Ministero Ambiente, dicembre 2012), nella Fig. 1b la classificazione sismica del territorio italiano (INGV).

Tab. 1 (Elaborata dall'ing. Mariano Ciucci - INAIL - DIPIA, 2007)

	Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	art. 6	art. 8	art. 6	art. 8	art. 6	art. 8
<b>Numero impianti</b>	21	16	216	117	140	147
<b>Percentuale</b>	5,6%	5,7%	57,3%	41,8%	37,1%	52,5%

### Danni alle attività industriali causati dal sisma

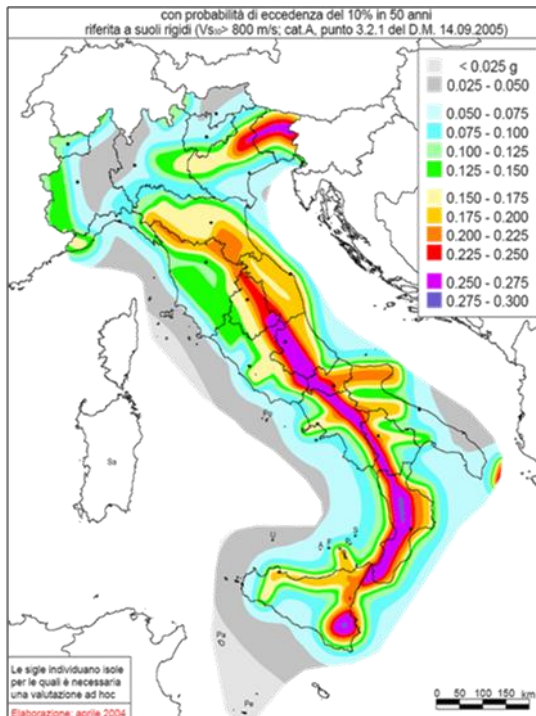
Come evidenziato da eventi sismici verificatisi in tutto il mondo, il sisma spesso non compromette la struttura portante di un edificio, ma gli impianti, determinandone la

Tab. 2 (Elaborata dall'ing. Mariano Ciucci - INAIL - DIPIA, 2007)

REGIONE	N. totale Impianti		N° Impianti nelle zone 1, 2 e 3		N° Impianti in Zona 1		N° Impianti in Zona 2		N° Impianti in Zona 3		% Impianti nelle Zone 1, 2 e 3	
	Art. 6	Art. 8	Art. 6	Art. 8	Art. 6	Art. 8	Art. 6	Art. 8	Art. 6	Art. 8	Art. 6	Art. 8
	ABRUZZO	18	10	18	10	1	--	7	7	10	3	100%
BASILICATA	4	4	4	4	2	2	1	2	1	--	100%	100%
CALABRIA	12	6	12	6	8	5	4	1	--	--	100%	100%
CAMPANIA	54	25	54	25	3	3	47	22	4	22	100%	100%
EMILIA-ROMAGNA	55	48	55	48	--	--	19	5	36	43	100%	100%
FRIULI-VEN.GIULIA	13	13	10	7	3	3	6	1	1	3	77%	54%
LAZIO	43	35	43	31	--	--	30	14	13	17	100%	89%
LIGURIA	11	18	3	6	--	--	2	2	3	4	27%	33%
LOMBARDIA	130	146	30	29	--	--	2	1	28	28	23%	20%
MARCHE	10	7	10	7	--	--	10	7	--	--	100%	100%
MOLISE	3	4	3	4	1	--	2	1	--	3	100%	100%
PIEMONTE	52	44	4	4	--	--	1	1	3	3	8%	9%
PUGLIA	28	18	20	13	--	--	7	2	13	11	71%	72%
SARDEGNA	20	25	0	0	--	--	--	--	--	--	0%	0%
SICILIA	48	29	47	28	--	--	47	28	--	--	98%	97%
TOSCANA	31	28	29	24	--	--	24	19	5	5	94%	86%
TRENTINO-ALTO AD.	11	4	1	2	--	--	--	--	1	2	9%	50%
UMBRIA	11	9	11	9	3	3	6	3	2	3	100%	100%
VAL D'AOSTA	3	1	0	0	--	--	--	--	--	--	0%	0%
VENETO	45	52	23	23	--	--	3	1	20	22	51%	44%
<b>TOT. ITALIA</b>	<b>602</b>	<b>526</b>	<b>377</b>	<b>280</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>216</b>	<b>117</b>	<b>140</b>	<b>147</b>	<b>63%</b>	<b>53%</b>



(a)



(b)

Fig. 1 (a) Localizzazione delle aziende Seveso (Ministero Ambiente, dicembre 2012);  
(b) classificazione sismica del territorio italiano (INGV)

messa fuori servizio. Gli stessi impianti potrebbero, a seguito del sisma, essere fonte di innesco di incidenti rilevanti. La rilevazione post-sisma ha evidenziato che i danni registrati dai componenti non strutturali, quali impianti meccanici, elettrici, sanitari e antincendio, hanno determinato l'inagibilità di molti edifici, anche quando le strutture erano rimaste integre. Pur non esistendo, nella letteratura nazionale ed europea, studi specifici sulle conseguenze del sisma sulle attività soggette alla direttiva Seveso, nel corso degli anni sono stati comunque effettuati rilevamenti sui danni post-sisma di raffinerie, depositi di GPL, impianti per la produzione energetica, infrastrutture quali reti idriche, del gas, elettriche. In letteratura è disponibile un'ampia rassegna dei danni più frequenti causati da eventi sismici in tali stabilimenti industriali, distinti in base a tipologia di impianto/ apparecchiatura ed infrastrutture.

### **Progettazione antisismica degli impianti e degli elementi non strutturali**

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) forniscono alcune indicazioni per la progettazione degli elementi non strutturali, in particolare prescrivono che tutti gli elementi costruttivi senza funzione strutturale, il cui danneggiamento può provocare danni a persone, devono essere verificati all'azione sismica, insieme alle loro connessioni alla struttura.

Per gli impianti le NTC 2008 definiscono l'azione sismica di progetto ed inoltre prescrivono che sia limitato il rischio di fuoriuscita del gas, particolarmente in prossimità di utenze elettriche e materiali infiammabili, anche mediante l'utilizzo di dispositivi automatici di interruzione della distribuzione di gas. I tubi per la fornitura del gas, nel passaggio dal terreno alla costruzione, debbono ad esempio essere progettati per supportare senza rotture i massimi spostamenti relativi costruzione-terreno dovuti all'azione sismica di progetto.

La Fig. 2 mostra un raccordo flessibile, inserito lungo il tracciato di una condotta, che consente dei movimenti in caso di sisma, senza determinare la rottura della condotta.



*Fig. 2 Raccordo flessibile*

La Direzione Centrale Prevenzione e Sicurezza Tecnica del Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile ha emanato nel dicembre 2011 una

guida per la riduzione della vulnerabilità sismica degli impianti antincendio, scaricabile dal sito istituzionale del vigili del fuoco. Il documento propone un procedimento di riduzione del rischio sismico per alcuni impianti di rilievo da un punto di vista antincendio, articolato in quattro fasi. Nella prima fase del procedimento viene individuata la classe di pericolosità del sito (classe A o B in base al valore massimo dell'accelerazione al suolo - Tab. 3).

Tab. 3 Classi di pericolosità al sito

Classe pericolosità	Livello di accelerazione a terra <sup>(1)</sup>
A (alta)	$A_{\text{sito}} = S a_g \geq 0.125 \text{ g}$
B (bassa)	$A_{\text{sito}} = S a_g < 0.125 \text{ g}$

Nella seconda fase, a seconda dello scenario di rischio del manufatto, viene attribuita una categoria di rischio, graduata dalla I alla IV (Tab. 4).

Tab. 4 Categorizzazione degli scenari di installazione

Categoria	Descrizione			
IV	Attività/strutture/aree con presenza di sostanze pericolose in quantità tale da poter determinare, in caso di terremoto, eventi incidentali pericolosi per la pubblica incolumità.			
III	Attività/strutture/aree che rivestono interesse strategico la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile.			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Aree tipo a</th> <th>Aree tipo b</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• strutture di supporto logistico per il personale operativo quali alloggiamenti e vettovagliamento;</li> <li>• strutture adibite all'attività logistica di supporto alle operazioni di protezione civile, quali stoccaggio movimentazione, trasporto, comprese le strutture per l'alloggiamento di strumentazione, di monitoraggio con funzione di allerta;</li> <li>• autorimesse e depositi;</li> <li>• strutture per l'assistenza e informazione alla popolazione.</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ospitanti funzioni di comando, supervisione e controllo;</li> <li>• sale operative;</li> <li>• strutture ed impianti di trasmissione, banche dati utili per la gestione dell'emergenza;</li> <li>• strutture e presidi ospedalieri.</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	Aree tipo a	Aree tipo b	<ul style="list-style-type: none"> <li>• strutture di supporto logistico per il personale operativo quali alloggiamenti e vettovagliamento;</li> <li>• strutture adibite all'attività logistica di supporto alle operazioni di protezione civile, quali stoccaggio movimentazione, trasporto, comprese le strutture per l'alloggiamento di strumentazione, di monitoraggio con funzione di allerta;</li> <li>• autorimesse e depositi;</li> <li>• strutture per l'assistenza e informazione alla popolazione.</li> </ul>
Aree tipo a	Aree tipo b			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• strutture di supporto logistico per il personale operativo quali alloggiamenti e vettovagliamento;</li> <li>• strutture adibite all'attività logistica di supporto alle operazioni di protezione civile, quali stoccaggio movimentazione, trasporto, comprese le strutture per l'alloggiamento di strumentazione, di monitoraggio con funzione di allerta;</li> <li>• autorimesse e depositi;</li> <li>• strutture per l'assistenza e informazione alla popolazione.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ospitanti funzioni di comando, supervisione e controllo;</li> <li>• sale operative;</li> <li>• strutture ed impianti di trasmissione, banche dati utili per la gestione dell'emergenza;</li> <li>• strutture e presidi ospedalieri.</li> </ul>			
II	Attività/strutture/aree rilevanti per l'elevata presenza di persone (maggiore di 100 unità) e relativo sistema di vie di esodo			
I	Attività/strutture/aree non rientranti negli altri gruppi.			

Nella terza fase, combinando la classe di pericolosità del sito e la categoria di rischio degli scenari di installazione, viene individuato il livello minimo di richiesta dei requisiti di sicurezza degli impianti (Tab. 5).

Infine, nella fase 4 vengono individuate le specifiche misure per la riduzione del rischio sismico per gli impianti. In Tab. 6 se ne riporta un esempio per gli impianti idrici antincendio.

La guida VVF, tramite una semplice metodologia (utilizzo di tabelle ed abachi), indica quindi dei provvedimenti efficaci per la riduzione della vulnerabilità sismica degli impianti antincendio, dei rivelatori di incendio, degli ascensori antincendio e di soccorso, dei

gruppi elettrogeni, degli impianti di adduzione di fluidi infiammabili, combustibili, comburenti.

Tab. 5 Livelli di richiesta del rispetto dei requisiti minimi di sicurezza sismica

Categoria Scenario (Tabella 4)	Classe di pericolosità del sito (Tabella 3)	
	A	B
IV	Richiesto	Consigliato
III	Richiesto	Consigliato
II	Richiesto	Consigliato
I	Consigliato	Non richiesto

Tab. 6 Misure per la riduzione del rischio sismico per gli impianti idrici antincendio

IMPIANTO IDRICO ANTINCENDIO								
Elemento di vulnerabilità	Potenziali criticità	Contromisure	Rif.	Requisito				
				S	F	R	D	C
Tubazioni fisse permanentemente in pressione	Rottura o perdite di tenuta da tubazioni installate fuori terra	Prevedere giunzioni flessibili: - nelle tubazioni verticali vicino le estremità (entro 50 cm) e del soffitto di ogni piano intermedio attraversato; - nelle tubazioni orizzontali in vicinanza dei punti di ingresso dell'edificio ed in corrispondenza dei giunti di dilatazione dell'edificio; Ridurre i punti di attraversamento dei giunti sismici o spostarli a quota più bassa possibile; Prevedere mensole di irrigidimento, dello stesso tipo per l'intero tratto della condotta: - nelle tubazioni orizzontali, con disposizione tale da impedire le oscillazioni lungo l'asse e da limitare le oscillazioni libere del tubo in direzione trasversale; - nelle tubazioni verticali posizionare mensole a quattro vie immediatamente sopra la giunzione flessibile.	[2] [4] [8]	✓	✓	✓	✓	
	Rottura o perdite di tenuta da tubazioni interrato	Prevedere manicotti flessibili: nelle tubazioni orizzontali in vicinanza dei punti di ingresso dell'edificio.	[2]		✓	✓		
	Rottura o perdite di tenuta da attraversamenti strutture verticali ed orizzontali	Lasciare uno spazio libero tutt'intorno al tubo opportunamente sigillato.	[2]		✓	✓		

## Conclusioni

La guida VVF può essere considerata come il punto di partenza per lo sviluppo di una metodologia della riduzione della vulnerabilità sismica anche negli impianti a rischio di incidente rilevante. A tal fine è necessario tuttavia che le analisi di rischio contenute nei rapporti di sicurezza siano integrate da valutazioni in merito alla sicurezza sismica degli impianti sia nella stima delle frequenze di accadimento degli incidenti, che nell'analisi delle conseguenze degli stessi.

## Bibliografia

VV.FF., Sito istituzionale, <http://www.vigilfuoco.it/asp/notizia.aspx?codnews=14831>.





## POSSIBILI INDIRIZZI PER LA PIANIFICAZIONE ED ATTUAZIONE DI MISURE DI MITIGAZIONE IN RIFERIMENTO AD EVENTI *NA-TECH* SU IMPIANTI RIR

Francesco Geri  
Dipartimento della Protezione Civile

Un numero limitato, ma rilevante, di incidenti industriali è causato da disastri naturali, definiti eventi *Na-Tech*, ovvero "Natural - Technological", ovvero ancora "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). In Fig. 1 è riportata la distribuzione degli eventi *Na-Tech* identificati nelle banche dati disponibili: in particolare in Fig. 1a vi sono gli eventi di tipo alluvionale (262 eventi dal 1970 al 2007) mentre in Fig. 1b sono riportati gli eventi di natura sismica su impianti RIR (78 eventi dal 1930 al 2007).

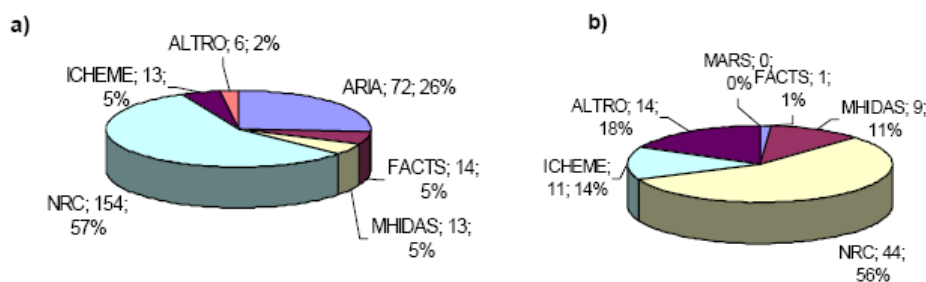


Fig. 1 Distribuzione degli eventi *Na-Tech* (Campedel, 2008)

Dalle analisi post evento, elaborate da Steinberg & Cruz (2003), è emerso che:

- diversi crolli di *piping* sono stati causati dalla presenza di giunti di rinforzo nella zona in cui è avvenuta la rottura a flessione;
- la mancanza di energia elettrica e l'insufficiente fornitura di acqua furono due importanti fattori aggravanti degli eventi *Na-Tech* durante il terremoto;
- è stato importante l'effetto domino generato dall'incendio di alcuni serbatoi;
- la maggioranza dei tetti dei serbatoi (30 su 45) è stata danneggiata dallo *sloshing* causato dal terremoto;
- la rottura di tubazioni ha comportato un notevole inquinamento da petrolio (sia terrestre sia marino);
- la risposta del personale interno e delle strutture/enti esterni è stata influenzata dal fatto che detto personale è addestrato per far fronte ad incidenti che accadono nelle fasi ordinarie, in assenza di scenario allargato dovuto al sisma.

E' stato verificato che gli effetti più rilevanti del terremoto sugli impianti sono stati:

- la perdita di energia elettrica;
- lo *sloshing* ed altri effetti legati ai serbatoi;
- la perdita di pressione dell'acqua.

L'analisi storica effettuata ha permesso di raccogliere dati su 78 eventi *Na-Tech* causati da terremoti. In Fig. 2 è riportata la distribuzione delle apparecchiature più vulnerabili al sisma: dall'analisi effettuata in base allo studio è emerso che le apparecchiature più vulnerabili sono quelle per il trasporto e per lo stoccaggio dei materiali.

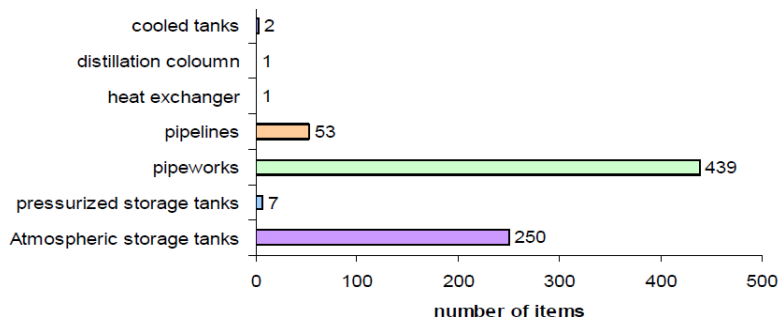


Fig. 2 Distribuzione delle apparecchiature più vulnerabili al sisma

Dall'analisi risulta che il 70% degli incidenti avviene con perdita di contaminante (LOC) e che i maggiori danni si verificano con la rottura dei serbatoi.

Nella Fig. 3a si distingue il danneggiamento di serbatoi per il fenomeno definito *Elephant-foot buckling*, mentre in Fig. 3b si nota il cedimento delle strutture di supporto ed il collasso del serbatoio. In riferimento agli effetti *Na-Tech*, si verifica che:

- gran parte degli incidenti *Na-Tech* (70%) avviene con il rilascio di sostanze pericolose,
- la probabilità di danno con perdita di contaminante (LOC) è molto più elevata dei danni strutturali,
- le strutture maggiormente colpite sono le tubazioni e i serbatoi non in pressione.



Fig. 3 (a) *Elephant-foot buckling*, (b) cedimento delle strutture di supporto e collasso

Le tipologie di effetti *Na-Tech* su serbatoi a seguito di forte sisma, sono riportate nella Tab. 1. Una valutazione dello scenario di evento in caso di forte sisma, può essere effettuata utilizzando la norma ATC 13 (1986), che definisce delle matrici di probabilità di danno riferite alla scala Mercalli. Le matrici sono ottenute sia dall'analisi dei danni dovuti a terremoti avvenuti sia in base all'opinione di esperti del settore. In particolare le matrici sono valutate per diversi elementi (tubazioni, camini, gru, tunnel, ecc) tra cui i serbatoi di stoccaggio che qui sono considerati. In particolare la norma permette di valutare la

probabilità di perdita di liquido da serbatoio nei due casi di serbatoio poggiato al suolo e di serbatoio su struttura elevata rispetto al suolo.

Tab. 1 tipologie di effetti Na-Tech su serbatoi a seguito di forte sisma

Modalità di collasso	Tipologia del danno	Rilascio sostanze pericolose
<i>Elephant Foot Buckling</i>	Elevate tensioni di compressione generate dal momento ribaltante possono innescare fenomeni di instabilità delle pareti del serbatoio	Rilevante se si verifica il collasso delle pareti
<i>Uplifting</i>	Il momento ribaltante può causare un parziale sollevamento delle piastre di base: lo spostamento verticale può determinare la rottura delle pareti del serbatoio e/o la rottura delle tubazioni di ingresso-uscita	Rilevante
<i>Sloshing</i>	L'oscillazione del pelo libero del liquido all'interno del serbatoio può determinare danni al tetto e/o alla parte alta delle pareti del serbatoio	Non rilevante
<i>Sliding</i>	Solo per serbatoi non ancorati: lo spostamento relativo tra il serbatoio e il piano di posa può determinare la rottura delle tubazioni di ingresso-uscita	Rilevante
<i>Liquefazione</i>	Rapido rilascio di sostanze dovuto al totale collasso della struttura determinato dalla liquefazione del terreno	Rilevante

Nella Tab. 2 sono riportate le probabilità di perdita di liquido da serbatoio rispettivamente per serbatoi al suolo e per serbatoi poggiati su struttura elevata rispetto al suolo. Dai valori tabellari, è possibile ad esempio derivare i dati di input per la simulazione di scenario *Na-Tech* - Serbatoi al suolo, in riferimento alla probabilità di perdita di liquido da serbatoio in funzione della scala del sisma. Dai valori tabellari è possibile ad esempio derivare i dati di input per la simulazione di scenario *Na-Tech* - Serbatoi al suolo, in riferimento alla probabilità di perdita di liquido da serbatoio in funzione dell'intensità macrosismica (Tab. 3).

Tab. 2 Probabilità di perdita rispetto all'intensità Mercalli

Liquido perso (%)	serbatoi al suolo			serbatoi elevati		
	IX	X	XI	IX	X	XI
0	-	-	-	-	-	-
0.5	2.1	-	-	0.1	-	-
5	94.6	25.7	2.5	52.7	25.7	2.5
20	3.3	69.3	58.1	46.9	69.3	58.1
45	-	5,0	39.1	0.3	5.0	39.1
80	-	-	0.3	-	-	0.3
100	-	-	-	-	-	-

Utilizzando la correlazione tra scala Mercalli e PGA (g), è possibile applicare i dati della Tab. 2 per la valutazione dello scenario rispetto alle zone sismiche della mappa di pericolosità sismica nazionale (secondo l'Ordinanza PCM 3519/2006).

Tab. 3 Probabilità di perdita di liquido in funzione dell'intensità macrosismica

Intensità macrosismica	Probabilità del fattore di perdita
IX	94.6% di perdere il 5% del liquido
X	69.3% di perdere il 20% del liquido
XI	58.1% di perdere il 45% del liquido

Gli scenari *Na-Tech* così valutati, anche in riscontro con l'analisi storica degli eventi reali *Na-Tech*, rispetto agli scenari RIR in condizioni ordinarie, comportano:

- un aumento della dimensione delle zone di sicuro impatto, di danno e di attenzione,
- un aumento della dimensione complessiva dell'area di interesse per l'applicazione del modello di intervento,
- un aumento degli elementi vulnerabili compresi nelle "aree di danno",
- una variazione della compatibilità territoriale tra scenario *Na-Tech* e categorie della pianificazione urbanistica esterne all'impianto.

Inoltre, in funzione del tipo di impianto e della relativa vulnerabilità, ovvero la vulnerabilità locale al sisma (data dalla complessità del *layout*, esistenza di molteplici connessioni, apparecchiature, componenti, complessità di funzionamento) e la vulnerabilità generale (le operazioni di processo realizzate con precisa sequenza e precise condizioni al contorno determinano la propagazione della "crisi" da un elemento all'interno sistema) si impone una diversificazione della richiesta di prestazione di un impianto RIR a seguito di sisma, ovvero:

- l'impianto deve rimanere funzionante a seguito di sisma di moderata entità
- l'impianto pur potendo subire una sospensione della sua funzionalità non deve dare luogo ad incidente rilevante a seguito di sisma violento

Ai fini della mitigazione degli effetti connessi ad un evento *Na-Tech*, alcune possibili linee di indirizzo sono:

- la riduzione dell'entità delle forze che il sisma trasmette alle strutture (tecnologie di controllo delle vibrazioni: sistemi passivi, attivi, semi-attivi, ibridi),
- l'*early warning* visto come insieme di tutte le azioni che possono essere attuate tra il momento in cui si ha la ragionevole certezza del verificarsi di un evento catastrofico in una data località e il momento in cui l'evento avviene. (intervallo di tempo può variare da alcuni secondi, nel caso dei terremoti, a 48 ore per gli eventi meteorologici),
- La verifica e riduzione degli effetti più rilevanti del sisma sugli impianti (da analisi storica: es. mancanza di energia elettrica, riduzione pressione risorsa idrica, *sloshing*, ecc).

In particolare, con riferimento al terzo punto, al fine di incrementare la resilienza funzionale ed organizzativa in caso di evento sismico su impianto RIR, in stretto riferimento a quanto riportato nell'analisi storica, è proposto un possibile percorso di indirizzo per la mitigazione dell'evento *Na-Tech*, da condividere ed integrare con gli altri enti le strutture, le cui fasi principali le seguenti:

- a) *verifica dei livelli di progettazione degli elementi dello stabilimento* rispetto alla classificazione sismica ed alla microzonazione con valutazione preventiva dei possibili effetti indotti dal sisma sulle apparecchiature critiche dell'impianto (colonne, camini, reattori, torce, serbatoi, forni, piping);
- b) *individuazione degli elementi critici da monitorare/verificare*: verificare tramite check list di riferimento, elementi/parametri quali: assetto di una colonna rispetto alle tubazioni ad essa connesse, geometria dei serbatoi, stato delle superfici, interfacce, stato dei pilastri di appoggio, stato dei tirafondi di collegamento tra fondazione e struttura, stato di tubazioni, valvole, flange rispetto ad un forte evento sismico anche mediante verifiche prestazionali rivolte alla compatibilità degli spostamenti e delle accelerazioni con le condizioni limite di funzionamento al contorno;
- c) *definizione indicatori di pericolo da monitorare*: verificare tramite *check list* di riferimento, parametri/grandezze quali ed es. perdita di contenimento, rilascio di miscele infiammabili/esplosive/tossico-nocive, variazione di parametri di controllo quale la pressione sui sistemi DCS;
- d) *definizione di misure interne di mitigazione*: individuare/definire tramite *check list* di riferimento, misure di mitigazione relative ai potenziali danneggiamenti delle apparecchiature critiche, indicatori di pericolo relativi, definizione ed analisi dei termini sorgente di incidenti rilevanti (scenari *Na-Tech* ad es. con ATC 13), necessariamente considerando anche le seguenti difficoltà potenzialmente derivanti dallo scenario reale di evento: la perdita di energia elettrica, la perdita di pressione e/o indisponibilità della risorsa idrica, l'insorgenza di fenomeni quali *sloshing*, *buckling*, *uplifting*; *sliding*, liquefazione, contemporaneità di più eventi all'interno dell'impianto, difficoltà e/o impossibilità di intervento da parte delle strutture operative già impegnate per altre richieste di soccorso tecnico;
- e) *implementazione di Procedura Operativa Standard (P.O.S.) di stabilimento*: (es. anche nell'ambito dell'SGS) per le attività di monitoraggio di elementi critici e indicatori di pericolo a seguito di evento sismico oltre che per l'attuazione delle relative *misure di mitigazione*.

I campi della *check list* di riferimento, proposta per la mitigazione dell'evento *Na-Tech* sono i seguenti:

- 1) Verifica dei livelli di progettazione rispetto;
- 2) Individuazione (preventiva) delle apparecchiature critiche d'impianto rispetto ai possibili effetti indotti dal sisma;
- 3) Individuazione preventiva degli elementi critici da monitorare e/o verificare post evento
- 4) Identificazione e definizione (*preventiva*) degli indicatori di pericolo da monitorare in caso di evento *Na-Tech*:
  - apparecchiature a struttura verticale snella (colonne, reattori, camini, torri, ecc),
  - apparecchiature a struttura tozza poggiante al suolo (serbatoi di grandi dimensioni a tetto fisso e galleggiante),
  - apparecchiature a struttura tozza sostenute in elevazione da elementi discreti (sfere, forni di processo, serbatoi criogenici isolati da terra, serbatoi piezometrici),
  - *piping* (tubazioni, flange, valvole),
  - strutture critiche interne (es. Sala controllo, magazzino m.p., p.i., p.f., strutture impianti di processo ecc),
  - danneggiamento del sistema di comunicazione interno/esterno;
- 5) Identificazione ed analisi (*preventiva*) dei possibili effetti sull'impianto dovuti ad indisponibilità, danni e mancanze (energia elettrica, risorsa idrica, trasporto, comunicazione)

dovute al sisma;

- 6) Misure interne di mitigazione dei possibili effetti *Na-Tech* (es. rinforzo tubazione/connessioni, connessioni flessibili, cinghie di rinforzo, pipeline ridondanti – es. pipeline di adduzione acqua, ecc);
- 7) Implementazione della procedura di controllo/verifica *Na-Tech* nell'SGS.

In conclusione, rispetto agli scenari *Na-Tech* su impianti RIR, è possibile declinare alcuni punti di miglioramento dell'attuale assetto di riferimento normativo: revisione ed aggiornamento dei criteri di pianificazione di emergenza esterna (PEE) in funzione degli scenari *Na-Tech*; adozione di indirizzi per la pianificazione delle misure di mitigazione per evento *Na-Tech* sugli impianti RIR (indirizzi operativi e *check list*); valutazione dell'effetto *Na-Tech* quale rischio indotto nell'ambito del Sistema di Pianificazione Nazionale e Territoriale in applicazione di quanto previsto dalla Legge n. 100/2012; revisione dei criteri di Pianificazione Urbanistica e Territoriale per le zone interessate da impianti RIR (DM 09/05/2001), con particolare riferimento alla Legge 100/2012.

## Bibliografia

- ATC 13 (1986). "Earthquake damage evaluation data for California" Applied Technology Council, – Federal Emergency Management Agency.
- Campedel M. (2008). "Analysis of Major Industrial Accidents Triggered by Natural Events Reported In the Principal Available Chemical Accident Databases", *European Commission - Joint Research Centre Institute for the Protection and Security of the Citizen*.
- Ciampi V. et al. (2008). "L'incidenza dei rischi naturali nell'analisi del rischio per gli impianti Seveso – Sistemi avanzati di protezione sismica: il caso dell'accoppiamento strutturale", Atti del convegno Nazionale VGR2K, Pisa.
- Ciucci M., Bellagamba S., Rinaldini A., Paolacci F., Arcangeletti A. (2002). "Protezione sismica di impianti a rischio di incidente rilevante mediante smorzatori viscoelastici", Atti del convegno Nazionale VGR2K, Pisa.
- Clerc A., Le Claire G. (1994). "The environmental impacts of natural and technological (na-tech) disasters", *Background discussion paper for The World Conference On Natural Disaster Reduction, 23-27 May 1994, Yokohama, Japan*
- Colletta P. et al. (2002). *Pianificazione del territorio e rischio tecnologico : il D.M. 9 maggio 2001 – Il controllo dell'urbanizzazione nelle aree a rischio d'incidente rilevante*, Ministero infrastrutture e trasporti e Politecnico di Torino, Celid Editore
- Geri F. et al. (2004) "L'early warning e il ciclo dell'emergenza nella gestione dei rischi indotti da eventi naturali su impianti a rischio di incidente rilevante", Atti del convegno Nazionale VGR2K.
- Lindell M. K., Perry R.W. (1996). "Identifying and managing conjoint threats: Earthquake induced hazardous materials releases in the US", *Journal of hazardous materials*, No. 50, Elsevier.
- Menoni S. (1997). *Pianificazione e incertezza. Elementi per la valutazione e la gestione dei rischi territoriali*, Franco Angeli, Milano
- Steinberg L. J., Cruz A.M. (2003). "When Natural and Technological Disasters Collide: Emergency Management Lessons From the Turkey Earthquake of August 17, 1999". *Natural Hazards Review*, 5(3), 121-130.



## **SICUREZZA SISMICA E RISCHI AMBIENTALI, INDUSTRIALI E SANITARI DEI POLI PETROLCHIMICI SICILIANI**

Salvo Cocina

*Energy Manager Regione Siciliana, già Dirigente Generale del Dipartimento regionale delle Protezione Civile e  
Commissario dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sicilia*

In Sicilia sorgono tre grandi poli petrolchimici, il polo di Priolo - Melilli - Augusta sulla costa jonica ad alta pericolosità sismica, quello di Milazzo e del comprensorio del Mela sulla costa tirrenica, a medio-alta sismicità, e quello di Gela sulla costa del canale di Sicilia, a bassa sismicità. Gli impianti petrolchimici siciliani raffinano e lavorano il greggio proveniente via mare dalla Libia, dal Medio Oriente e dalla Russia, nonché quello prodotto dai pozzi dei campi di Gela e di Ragusa (di terra e off-shore della piattaforma Vega), con una capacità di raffinazione di quasi il 40% di quella complessiva italiana e una produzione di oltre un terzo dei consumi italiani di benzine, gasoli e gas. Nei comuni direttamente interessati dagli impianti petrolchimici risiedono circa 200.000 abitanti; considerando anche i comuni contermini, che potrebbero essere coinvolti da scenari di danno, si perviene a circa 350.000 abitanti.

Il polo di Priolo - Melilli - Augusta ricade in Sicilia Sud-Orientale, area sismogenetica e storicamente colpita da terremoti catastrofici e conseguenti maremoti, ultimo quello del 1693, del Val di Noto ( $M = 7.4$ , XII MCS). Nel 1990 l'area fu colpita da un sisma di  $M = 5.2$  con epicentro nel Golfo di Augusta e con un apprezzabile danneggiamento al patrimonio immobiliare (VIII MCS). Secondo la normativa vigente, che si basa su un metodo di tipo probabilistico e su considerazioni di tipo economico nell'ambito di un'opportuna analisi costi-benefici, il valore atteso dell'accelerazione massima al suolo (PGA) è pari a circa 0.28g (INGV, 2004). In particolare, la norma adotta il valore avente probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, corrispondente ad un periodo di ritorno  $T_R = 475$  anni. Un approccio diverso, di tipo neo-deterministico, ritiene sottostimati i suddetti valori di PGA e fornisce invece valori di accelerazione al suolo (DGA) più alti, fino a 0.56g. Nell'area di Priolo - Augusta - Melilli sorgono due grandi raffinerie, una è la più grande d'Italia per lavorazioni, pari a quasi 17 milioni di tonnellate annue, nonché tre industrie di chimica di base, due centrali termoelettriche, una centrale termica, un impianto di cogenerazione elettrica, un impianto di produzione di idrogeno, una cementeria, un inceneritore, sottoposti al D. Lgs. 334/1999 (Direttiva Seveso) e ad alle norme ambientali di cui al D.Lgs. n.152/2006 e connesse autorizzazioni integrate ambientali (AIA nazionali). Si aggiungono alcuni depositi costieri di carburanti, due discariche e numerose industrie costituenti l'indotto, soggette ad AIA regionale. Ulteriore fattore di rischio è rappresentato, nella rada di Augusta, dal traffico navale di materie prime pericolose che sono sbarcate attraverso pontili e opere di accosto.

Il polo petrolchimico di Milazzo e del Mela ricade, invece, in area a minore sismicità che risente sia dei terremoti dello Stretto di Messina da est, sia di quelli del Golfo di Patti da ovest. L'area fu colpita, con intensità locale di grado VIII della scala MCS, dal grande terremoto di Messina del 1908 e nel 1978 da un sisma, con epicentro nel Golfo di Patti, di grado VII-VIII della scala MCS. Il PGA secondo normativa è pari a circa 0.20 g (INGV,

2004 -  $T_R = 475$  anni); il DGA, invece, è pari a circa 0.35g. Ricadono a Milazzo e nell'area del Mela, oltre alla raffineria, una centrale termoelettrica e un impianto di cogenerazione, soggetti ad AIA nazionale, un impianto di imbottigliamento di GPL, un impianto di trattamento batterie, soggetti a Direttiva Seveso, oltre ad altri impianti soggetti ad AIA regionale tra i quali un'acciaieria/laminazione, una fornace di laterizi, diverse aziende metalmeccaniche, agroalimentari e di cantieristica.

Sono ormai accertati e documentati, soprattutto a partire dal 2000, in alcuni studi epidemiologici, curati dalla Organizzazione Mondiale della Salute (OMS), dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS, studio "Sentieri") e dall'Osservatorio Epidemiologico Regionale, i danni alla salute dei cittadini residenti nelle aree contermini ai poli industriali e connessi all'inquinamento dell'aria, dei suoli e delle falde. Gli studi documentano eccessi di mortalità e di patologie connessi a malattie tumorali e a malattie dell'apparato respiratorio, nonché eccessi di malformazioni nei nati.

Gli inquinanti provengono sia dalle emissioni convogliate e controllate sia, soprattutto, dalle emissioni diffuse e fuggitive: dai parchi serbatoi di benzine e gasoli per evaporazione, dalle torce, dagli impianti per perdite varie o per incidenti, incendi compresi. Si tratta in prevalenza di idrocarburi, fra cui il più temibile è il benzene, accertato cancerogeno di classe 1A, di polveri sottili che trasportate in aria giungono anche nelle vicine città e si depositano al suolo portando metalli pesanti (mercurio, cadmio, cromo, piombo) e IPA (fra gli Idrocarburi Policiclici Aromatici, il benzo(a)pirene è cancerogeno). Le emissioni convogliate contengono invece composti meno dannosi fra cui anidride solforosa ( $SO_2$ ), monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto ( $NO_x$ ). A vecchi processi industriali, fortunatamente chiusi da decenni, sono dovuti invece la contaminazione di mercurio nei fondali della rada di Augusta e la dispersione di fibre di amianto (ex stabilimenti Eternit e Sacelit). Dispersioni per lesioni dei serbatoi e di alcune condotte hanno determinato l'inquinamento dei suoli e delle falde con idrocarburi.

Le tre aree, in quanto caratterizzate da gravi alterazioni negli equilibri ambientali, sono state pertanto dichiarate, ai sensi della Legge 349/1986, aree ad elevato rischio di crisi ambientale (AERCA) e da sottoporre a risanamento tramite appositi piani; le tre aree sono inoltre perimetrate, ai sensi della Legge 426/1998, siti di interesse nazionale (SIN) da sottoporre a bonifica e ripristino ambientale.

I grandi impianti petrolchimici furono costruiti in un arco di tempo dagli anni '50 agli anni '70; la raffineria Rasiom di Augusta entrò in funzione nel 1950, la Raffineria Mediterranea di Milazzo nel 1961, l'Agip di Gela nel 1965, l'ISAB di Priolo nel 1975. Furono realizzati prima dell'inserimento dei comuni interessati tra le zone sismiche di seconda categoria, avvenuta nel novembre 1981; pertanto, le strutture non sono state progettate con criteri antisismici e denotano un invecchiamento funzionale e strutturale e una stratificazione di chilometri di fasci tubieri di cui gli stessi gestori non hanno piena contezza, come dimostrato in occasione di recenti incidenti (v. rottura oleodotto dismesso nel 2012 a Priolo - Melilli). Tale obsolescenza, associata ad alcuni passaggi gestionali e societari, dalle società italiane a grandi multinazionali, prevalentemente russe, favorisce la frequenza degli incidenti di piccola-media entità.

Per il polo di Priolo - Melilli - Augusta si sono avuti, soprattutto negli anni passati e con tendenza alla diminuzione, oltre 15 incidenti seri con decine di morti e feriti. Un documento del Dipartimento regionale della Protezione civile (2009) riporta, per il periodo 2007-2009, eventi incidentali e imprevisti (sfiaccolamenti, rilascio sostanze,

emissioni fumose, blocchi, incendi, etc.) con una frequenza superiore ad uno a settimana; un altro documento di Arpa Sicilia (2012) descrive, fra il 2011 e il 2012, il verificarsi di tre incidenti di media severità all'anno.

Tali impianti per tipologia delle materie prime presenti, additivi semilavorati e prodotti finiti a rischio di infiammabilità, corrosione, tossicità e cancerogenicità rientrano nel campo di applicazione della Direttiva Seveso, sulle industrie a rischio di incidente rilevante (RIR) relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose. Tuttavia i danni causati da questi incidenti ordinari, cioè connessi al funzionamento degli impianti e non dipendenti da forzanti esterne, sarebbero meno gravi ed estesi di quelli indotti da un probabile severo sisma; questi ultimi sarebbero, invece, aggravati dal fuori uso dei presidi di protezione e sicurezza, quali le reti antincendio (per mancanza di energia elettrica e di acqua in pressione) e dall'ampliamento della zona di impatto e di danno a tutta l'area a causa del probabile effetto "domino". Si avrebbe così uno scenario di evento Na-Tech, cioè naturale e tecnologico, piuttosto complesso: sversamento massivo e diffuso di liquidi e gas infiammabili, tossici o pericolosi, inquinamento dell'aria e delle acque, e incendi, esplosioni e nubi tossiche, con "effetti domino" incontrollabili che potrebbero colpire le grandi conurbazioni vicine; particolarmente esposta al rischio è la città di Siracusa e, in misura molto minore, Catania.

Relativamente al polo di Priolo - Augusta, un recente studio sulla vulnerabilità degli impianti, redatto da INGV ed EUCENTRE, commissionato dalla Prefettura di Siracusa, pur svolto ad un primo livello di massima considerando solo alcuni elementi strutturali (ciminiera, serbatoi, pontili e tubazioni), conferma lo scenario atteso: in caso di sisma di media intensità ( $T_R = 50$  anni) si potrà avere grave danno o collasso di alcune strutture alte (ciminiera) e danni leggeri alle restanti; in caso di sisma di elevata o elevatissima intensità ( $T_R = 475 - 1000$  anni) si potrà verificare il collasso di numerose ciminiera e di gran parte dei serbatoi, oltre a gravi danni alle opere portuali di accosto ed alle tubazioni. Queste sono valutazioni di massima, tratte da studi di primo livello e non di dettaglio, in quanto non sono state svolte le dettagliate e specifiche verifiche sismiche previste dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio (OPCM) 3274/2003, emanata a seguito del tragico sisma di San Giuliano di Puglia, proprio per prevenire ulteriori disastri dovuti a strutture molto vulnerabili al sisma. Non sono stati pertanto neppure programmati o avviati i necessari ma costosi interventi di messa in sicurezza sismica.

A fronte di tale gravi scenari sismico-industriali sono poche le efficaci azioni di mitigazione ad oggi realizzate imposti dalla Direttiva Seveso e dalle norme ambientali di cui al D. Lgs. 152/2006: le ordinarie misure di protezione e di prevenzione e i sistemi di sicurezza strutturali e gestionali, i piani di emergenza interni ed esterni, le esercitazioni, l'isolamento sismico di qualche serbatoio e alcune nuove arterie stradali fra cui quelle di Priolo - Augusta - Melilli realizzate nell'ambito del programma di interventi ex Legge 433/1991, conseguenti al sisma del 1990.

Neppure la pianificazione urbanistica dei Comuni ha tenuto realmente in conto, così come indicato anche dalla Direttiva Seveso, i rischi sismico e industriale ed ha invece consentito la costruzione di strutture ricettive e commerciali aggravando così il rischio complessivo e non rispettando il principio di cautela. I comuni, infatti, non hanno ancora integrato i piani regolatori con il RIR elaborato che individua i criteri minimi per l'uso del territorio nelle aree a rischio. L'insediamento di nuovi impianti in tale area a rischio,

anche di quello strategicamente valido di un grande rigassificatore a Priolo, parzialmente interrato in area costiera, infatti, non può che essere subordinato alla messa in sicurezza dell'esistente, a meno che non si realizzino strutture delocalizzate od *off-shore*. Risultano redatti ai sensi della Direttiva Seveso i piani di emergenza interna ed esterna ma non lo studio di sicurezza integrato d'area né il piano di intervento delle misure urgenti per ridurre o eliminare i fattori di rischio.

I comuni interessati sono dotati di piani comunali di protezione civile, che però non sono testati da frequenti e idonee esercitazioni. L'esercitazione più importante risale al 2005 (Eurosof) e riguarda il polo di Priolo - Melilli - Augusta, ma occorrerebbe realizzare esercitazioni relative a scenari di area vasta e cioè nell'ipotesi di scenari di incidenti dovuti ad effetti dominanti ed estesi a più comuni. Le esercitazioni costituiscono altresì occasione per realizzare l'auspicato coordinamento fra tutte le Autorità preposte (Prefettura, Regione, Protezione Civile, Vigili del Fuoco, ARPA, Azienda Sanitaria, Provincia, Comuni, etc.). Risultano altresì necessari per abbattere il rischio, idonee reti di monitoraggio degli inquinanti in real-time e sistemi di allerta, efficaci piani di emergenza sovra comunali e riferiti all'intera area, azioni di informazione alla popolazione e controlli più severi per la verifica del rispetto delle norme negli impianti e nei processi industriali.

Tali impianti petrolchimici e gli altri dell'indotto sono autorizzati dalle recenti AIA nazionali (D. Lgs. 152/2006) e nel rispetto della Direttiva Seveso sui rischi di incidente rilevante connessi con sostanze pericolose. E' paradossale che tali autorizzazioni e le connesse valutazioni di rischio, i rapporti di sicurezza, i piani di emergenza interni ed esterni non tengano pienamente conto del rischio sismico e del rischio idrogeologico delle aree (ved. inquinamento connesso ai danni causati dall'alluvione del 2011 a Milazzo), non contemplando la conseguente possibilità di cedimenti strutturali di impianti, tubazioni e serbatoi, blocchi e fuori servizio, con conseguenti sversamenti di liquidi, rilasci di gas, esplosioni e incendi. Tale posizione, probabilmente in corso di superamento, denota una visione parziale della sicurezza quasi che i rischi connessi a terremoti ed alluvioni fossero di competenza di altri soggetti autorizzatori cui rimandare.

In proposito, occorre rilevare l'inadeguatezza dell'attuale normativa sismica in quanto non contempla norme specifiche per le complesse tipologie delle strutture impiantistiche in parola.

Occorre pertanto agire sulla puntuale e rigorosa revisione delle AIA nazionali, dei piani di emergenza e di tutti i documenti RIR, dei piani di protezione civile, tenendo rigorosamente conto, nel rispetto del principio di cautela, dell'interazione del rischio sismico e di quello alluvionale con quello industriale di processo (rischi *Na-Tech*) e svolgere serie ispezioni straordinarie sugli impianti. Si deve dare atto che solo negli ultimi anni sono stati fatti notevoli passi in avanti nel controllo e nelle autorizzazioni e sono state rilasciate le AIA per i grandi impianti industriali siciliani (l'ultima è quella della raffineria di Gela).

Con tale auspicata procedura di revisione si perverrà a nuove e più efficaci AIA che dovranno prendere atto dei gravi rischi sismici e idrogeologici che gravano sugli impianti e non potranno non imporre l'adozione delle migliori tecnologie disponibili (BAT) e pertanto anche i necessari interventi di mitigazione del rischio sia sul piano strutturale della messa in sicurezza sia sul piano della gestione della sicurezza e delle procedure di allerta.

Le esperienze decennali maturate sul campo della protezione civile, quale dirigente del competente Dipartimento regionale, e quelle in campo ambientale, quale Commissario di ARPA Sicilia, mi inducono a ritenere, come sopra detto, che il momento autorizzativo e quello delle ispezioni ambientali siano strumenti veramente efficaci per la corretta e integrale valutazione del rischio e soprattutto per una concreta opera di prevenzione. In questo momento di crisi economica e nelle more della realizzazione dei necessari e auspicati interventi di messa in sicurezza degli impianti, tali misure appaiono oggi le uniche più idonee.

Anche alla luce della sentenza de l'Aquila, non può essere occultato alle popolazioni il grave rischio sismico dell'area connesso agli impianti petrolchimici; questa nuova coscienza stimolerà ulteriormente i dovuti interventi di messa in sicurezza, anche se costosi, sia da parte dello Stato e sia da parte delle imprese. Queste ultime, traendo lecito lucro dall'attività esercitata, sono tenute a salvaguardare concretamente la sicurezza e la salute umane e l'ambiente.





## **LA SICUREZZA SISMICA DEGLI IMPIANTI A RISCHIO DI INCIDENTE RILEVANTE: UN PROBLEMA E TANTE OPPORTUNITÀ NELL'AMBITO DI UNA SERIA STRATEGIA DI INTERVENTO**

Carlo Cremisini  
*ENEA*

Il tema generale dei rischi naturali assume nei nostri giorni una sempre maggiore rilevanza. In questo ambito la sicurezza sismica degli impianti a rischio di incidente rilevante costituisce oggettivamente un problema da affrontare con urgenza, ma anche un'opportunità per offrire nuove possibilità di lavoro a giovani laureati e programmare lo sviluppo sostenibile del settore industriale.

Gli eventi catastrofici catalizzano l'attenzione anche per lunghi periodi di tempo e ne è l'ennesima riprova quanto accaduto in Giappone a Fukushima, dove un impianto nucleare è stato danneggiato in modo irreversibile dal terremoto ed ancor di più dal successivo tsunami causando danni incalcolabili alla popolazione, alle strutture civili ed all'ambiente. In particolare l'onda di tsunami che ha colpito l'impianto misurava almeno 10-14 m di altezza, dalle tracce riscontrate nel parcheggio che si trova appunto a questa altezza, mentre l'impianto era stato progettato per far fronte al massimo ad onde di circa 6 m. Quasi sempre in queste occasioni riprende vigore l'analisi di problemi non sufficientemente considerati e riemerge l'esigenza di una programmazione della necessaria politica di attuazione dei sistemi di prevenzione. Gli interventi ovviamente debbono essere calibrati a partire da un attento esame delle strategie di prevenzione attualmente in atto e, parallelamente, dalla verifica delle carenze sul piano normativo.

ENEA ha ritenuto utile, con il Patrocinio, tra gli altri (SGI, GLIS, ASSISi, PaL.Mer., CNI), dell'Accademia Nazionale dei Lincei e dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, offrire un'occasione di incontro e discussione tra Protezione Civile, Istituzioni, Enti di Ricerca, Università e Amministrazioni Locali per avviare un processo interattivo di scambio di informazioni e opinioni tra mondo scientifico, istituzioni e addetti ai lavori, con l'obiettivo di aiutare le parti nel programmare un adeguato intervento nel settore e conseguentemente prendere decisioni sulla base di giudizi equilibrati che riflettano elementi di fatto.

Gli interventi hanno riguardato gli innumerevoli aspetti sia prettamente tecnico-scientifici che economico-politici dell'attualissimo tema. Io vorrei soltanto accennare ad alcuni elementi che hanno stimolato la mia riflessione.

Primo tra tutti il modo di considerare gli aspetti del rischio e della sicurezza negli impianti industriali. E' evidente che fino ad oggi, nella maggior parte dei casi, nella progettazione e realizzazione degli impianti industriali l'attenzione è stata, ovviamente, quasi interamente volta a ridurre i rischi derivanti dalle operazioni che negli impianti vengono condotte nei normali cicli di lavorazione ed a garantire, a norma di legge, la sicurezza degli addetti ai lavori. Nel tempo sempre maggiore attenzione è stata poi dedicata al contenimento delle emissioni e quindi al rispetto dell'ambiente e della salute dell'uomo. Ma sempre in relazione al normale svolgimento dei cicli di produzione industriale.

Il tema della protezione degli impianti dai rischi naturali, primo tra tutti quello sismico, non è stato fino ad oggi sufficientemente considerato. Volendo semplificare, l'attenzione è stata solamente posta sulla protezione della salute dei lavoratori, il contenimento delle emissioni e la sicurezza degli impianti nella loro normale operatività. Purtroppo il "pericolo" può venire dall'esterno ed un evento come un sisma può provocare un incidente in un impianto industriale con danni incalcolabili all'esterno. Ancora per semplificare, un muro perimetrale dovrebbe, in alcuni casi, non solo prevedere il contenimento di eventuali sversamenti da parte di un impianto industriale, ma anche proteggere l'impianto, ad esempio, da un'onda di tsunami, se l'accadimento è ragionevolmente ipotizzabile. Ed in Italia, per alcuni impianti chimici a rischio di incidente rilevante, questa evenienza non è trascurabile in termini probabilistici.

L'altro aspetto che mi preme evidenziare è la necessità che l'argomento venga affrontato in modo multidisciplinare. Occorre bene individuare e classificare gli impianti a rischio di incidente rilevante (RIR) nelle aree ad elevato "rischio naturale" (terremoti, frane, alluvioni). Occorre individuare le idonee soluzioni per la protezione di questi impianti (sistemi di protezione sismica, muri di protezione) da rischi naturali e finanziare la ricerca in questo campo per garantire nel futuro soluzioni sempre più efficaci. Occorre però, al tempo stesso, studiare all'interno di questi impianti con attenzione tutti i cicli produttivi e considerare i punti sensibili con riferimento ai rischi naturali: questi punti possono essere completamente differenti da quelli considerati in termini di sicurezza in relazione al normale funzionamento dell'impianto. Occorre studiare e programmare le strategie di primo intervento e tutte le fasi successive di monitoraggio (anche chimico) nel caso di incidente. E molto altro ancora.

Solo così possono essere individuate le priorità e destinati i relativi investimenti necessari agli adeguamenti. E non possono essere trascurati gli impianti dismessi (spesso abbandonati) e quelli che saranno dismessi a breve, individuando e ribadendo in questa fase le successive responsabilità. Questo riconduce al tema e problema dei siti contaminati che in qualche caso potrebbero essere, al fine del tema trattato nel workshop, "assimilati" all'impianto industriale.

Credo infine sia importante anche sottolineare che il tema dibattuto potrebbe, anzi direi dovrebbe, nel futuro offrire opportunità di lavoro a giovani laureati. E' infatti evidente, come sopra accennato, la necessità di nuove figure professionali, con competenza multidisciplinare, a fronte delle esigenze di sicurezza nelle strutture a rischio di incidente rilevante con particolare riferimento ai danni che potrebbero essere provocati da terremoti, alluvioni, frane. Sono peraltro ovvie le correlazioni con i temi dello sviluppo sostenibile, della tutela ambientale e pianificazione territoriale (con l'ampio coinvolgimento delle amministrazioni locali) e della tutela della salute pubblica. Tali competenze oggi sono necessarie non solo a livello Centrale, ma anche nelle piccole Amministrazioni Locali, così come è evidente che il nostro Paese deve rinnovare la sua capacità di studiare e comprendere il territorio ed i problemi connessi alle attività che sul territorio insistono, facendo di questa conoscenza la base dello suo sviluppo futuro.

## **QUESTO NOSTRO STRANO PAESE**

Gian Vito Graziano

*Presidente Consiglio Nazionale Geologi*

Dopo aver attentamente ascoltato le relazioni della giornata, la riflessione che ho fatto e che voglio condividere con tutti voi è quella che conferma la consapevolezza di vivere in un Paese, che, nonostante le apparenze ed i pregiudizi di cui è vittima, è tuttavia mosso da una grande forza propulsiva, di idee, di saperi e di intelligenze.

Oggi si è affrontato un tema tanto delicato e forse troppo sottovalutato, che riguarda il rischio sismico nelle aree industriali, partendo dal configurare uno o più scenari in caso di forte terremoto, valutandone non soltanto gli aspetti più squisitamente strutturali, ma anche quelli, non meno rilevanti, di carattere ambientale.

Questo Paese può vantare l'attività virtuosa di tanti enti ed istituzioni che intendono svolgere, seppure soffocati da un momento di grande crisi economica e culturale, un ruolo di sussidiarietà, in grado di dare una mano concreta alla crescita ed allo sviluppo.

Gli enti di ricerca, un certo tipo di associazionismo e, permettetemi di aggiungere, anche un rinnovato sistema di ordini professionali, quello che ha ritenuto di doversi ammodernare e di lasciarsi definitivamente alle spalle il vecchio ruolo corporativo, tentano di svolgere un ruolo che mi piace definire sociale, mettendo a disposizione dell'interesse pubblico le proprie competenze ed i propri saperi. E lo fa in un contesto di enormi difficoltà economiche, nel quale sono stati sin troppo pesantemente tagliati i fondi della ricerca e nel quale l'insegnamento delle Scienze nelle scuole si trova in una non certo positiva contingenza e nel quale molti dipartimenti universitari rischiano di chiudere, soprattutto dopo l'ultima riforma, che incide sulla sopravvivenza degli stessi dipartimenti, esclusivamente su considerazioni tecnico organizzative, quali ad esempio il numero dei docenti strutturati.

A questa parte di Paese reale, che pur nelle mille difficoltà continua a svolgere un ruolo di supporto a crescita e sviluppo e sulle cui capacità intellettuali e culturali poggiano le possibilità di futuro per il nostro sistema, si affianca un'altra parte, anch'essa reale, ma che sembra viaggiare ad un'altra velocità, poco o per nulla attenta a questi percorsi di sviluppo.

Basterebbe citare le tante incompiute legislative, dal fascicolo del fabbricato alla legge di governo del territorio, per puntare il dito contro una classe politica incapace di affrontare la grande questione della mitigazione dei rischi naturali, di percepire l'assoluta necessità di una legge di governo del territorio e di programmare e legiferare in tempi ordinari, senza la spinta emotiva successiva alle tragedie. Ma potrebbe bastare anche leggere i programmi ufficiali di partiti e movimenti politici che concorreranno alla ormai prossima competizione elettorale, dove sono assenti i temi e le questioni connessi alle politiche di mitigazione dei rischi naturali, nonostante il terremoto dell'Emilia Romagna sia avvenuto meno di un anno orsono, quello di L'Aquila abbia causato ben 300 morti e nonostante le alluvioni ormai ricorrenti con una frequenza incalzante.

Ma proprio l'assenza di questi temi dai programmi elettorali di partiti e movimenti testimonia che la causa di questa stagnazione culturale non possa essere attribuita solo alla classe politica, perché è evidente che in quei programmi partiti e movimenti inseriscono quelli che ritengono i temi centrali dello sviluppo, ovvero quelli che sono gli aspetti di maggiore interesse per la nostra società, in altre parole quello che la gente vuol sentirsi dire dalla classe politica. Dunque se è distratta la classe politica, lo è perché è distratta la società civile, alla quale i temi della sicurezza poco interessano, se non all'indomani dell'evento calamitoso, quando l'onda dell'emozione chiede che si agisca presto e bene con tutte le strategie possibili.

Evidentemente siamo un popolo che dimentica troppo facilmente le tantissime tragedie che hanno investito il nostro Paese, ma non solo quelle lontane come il terremoto di Messina del 1908, ma anche quelle che sono ancora a memoria d'uomo e persino quelle recentissime di L'Aquila e dell'Emilia Romagna. E siamo anche un popolo che ritiene che queste cose accadano vicino a noi, ma non a noi. Una sorta di torpore del tessuto sociale, che francamente dubito che possa essere risvegliato con iniziative parlamentari, leggi e provvedimenti, per quanto esse tuttavia potrebbero risultare strategiche o indispensabili.

Ritengo invece che la spinta per risvegliarsi, per fare uscire il Paese dal pantano in cui sta annaspando, debba venire dal basso, non dall'alto, dalla gente più che dai politici, che ad un certo punto non potranno non tenere conto delle istanze della popolazione. Ma affinché questo succeda occorre che ci sia una reale consapevolezza dei rischi, occorre che ciascuno di noi, consapevolmente e responsabilmente, diventi sentinella del proprio territorio e delle proprie strutture, che compia e faccia compiere azioni virtuose e non permetta che se ne compiano di viziose. Dobbiamo pensare ad un popolo che provi aberrazione per qualunque tipologia di sanatoria, prime tra tutte quelle che tentano di soffocare le regole della sicurezza.

Per ottenere questi risultati possiamo percorrere molte strade, ma non possiamo trascurare quella a mio avviso più importante, che in tanti ricordano, ma che nessuno poi compie, quella dell'intervento nella scuola. Formare una nuova generazione di persone consapevoli dei rischi, ma anche delle risorse, di questo straordinario Paese, significa formare una generazione più responsabile della nostra. Ed è quello di cui abbiamo effettivamente bisogno.

Tutti dicono, ma nessuno fa: la scuola.

## **ISOLAMENTO SISMICO DI SERBATOI DI IMPIANTI CHIMICI A PRIOLO GARGALLO (SR)**

Nunzio Scibilia

*Università degli Studi di Palermo & GLIS*

I serbatoi di stoccaggio degli impianti petrolchimici costituiscono una seria minaccia alla salvaguardia dell'ambiente, a causa delle conseguenze disastrose derivanti da un loro collasso, come messo in luce dai recenti eventi catastrofici. Tra le cause più frequenti di collasso si citano le azioni sismiche, particolarmente rilevanti in zone prossime a faglie attive, come risulta quella di Priolo Gargallo, in provincia di Siracusa, già sede di sismi distruttivi. Infatti, in tale area si sono registrati due eventi particolarmente significativi: il primo nel 1169 avente una magnitudo stimata di 6.6 ed il secondo nel 1693 di magnitudo stimata 7.4, con onde di tsunami alte fino a 15 m, noto come terremoto della Val di Noto, che interessò una vasta area della Sicilia sud Orientale, determinò il trasferimento in altro sito della città di Noto e provocò anche l'esplosione della polveriera del Castello di Augusta, poco distante da Priolo. Un terzo evento meno severo si è verificato nel dicembre del 1990.

I serbatoi di stoccaggio degli impianti petrolchimici si sono mostrati molto vulnerabili alle azioni sismiche, tra questi si citano quelli in acciaio della raffineria Tupras in Turchia, distrutti dal terremoto di Izmit del 1999 e quelli della raffineria di Tomakomai City in Giappone, colpiti dal sisma di Off Tokachi del 2003. I danni sono stati aggravati dagli incendi sviluppatisi in seguito ai sismi. Pertanto, negli ultimi anni si sono realizzati numerosi interventi atti ad incrementare la sicurezza di tali strutture nei confronti delle azioni sismiche. Tra questi l'isolamento sismico costituisce una delle tecniche più efficaci per garantire adeguati margini di sicurezza; tra gli interventi più significativi si citano quello su serbatoi in Grecia (progetto di M. C. Constantinou) con isolatori a pendolo ad attrito e quello su serbatoi di gas naturale liquefatto (LNG) in Turchia, con isolatori elastomerici con nucleo in piombo.

Nella presente nota si riferisce su interventi eseguiti su tre serbatoi a Priolo Gargallo, ove sono stati adottati dispositivi di isolamento a pendolo ad attrito, in grado di resistere anche al calore che si potrebbe sviluppare in caso di incendio, premettendo alcune nozioni sull'isolamento sismico ed in particolare sul funzionamento del pendolo ad attrito.

### **Isolamento sismico**

Le tecniche di isolamento sismico consistono nell'introdurre, lungo lo sviluppo verticale della struttura da isolare, discontinuità in modo da separarla in due parti: una sottostruttura collegata alle fondazioni ed una sovrastruttura da proteggere. Tra le due parti si inseriscono gli isolatori sismici, dotati di elevata rigidità nei confronti dei carichi verticali e deformabili sotto l'azione delle forze orizzontali, determinando un disaccoppiamento tra il moto della sottostruttura ancorata al terreno e quello della sovrastruttura che viene sottoposta ad azioni sismiche ridotte, in relazione all'efficienza

dei dispositivi. Il bilancio energetico nella progettazione antisismica è evidenziato dalla seguente ben nota equazione  $E_i = E_E + E_K + E_D$ . L'energia in ingresso  $E_i$  dipende sia dalle caratteristiche dell'evento sismico che dalle caratteristiche della struttura, mentre le grandezze  $E_E$ ,  $E_K$  ed  $E_D$  rappresentano rispettivamente l'energia elastica, l'energia cinetica e l'energia dissipata. L'isolamento sismico opera attraverso le seguenti modalità: riduce l'energia in ingresso mediante il disaccoppiamento del moto della struttura da quello del terreno; aumenta le capacità dissipative della struttura.

Le prime norme italiane furono emanate dal Consiglio Superiore dei LL.PP. nel 1997: "Linee guida per la progettazione, esecuzione e collaudo di strutture isolate dal sisma", cui hanno fatto seguito le Ordinanze P.C.M. 3274/2003 e 3431/2005 (Cap. 10 "Edifici isolati") ed il D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni (Cap. 7.10 "Costruzioni e ponti con isolamento e dissipazione" e Cap. 11.9 "Tipologie di dispositivi"). Successivamente è stata emanata la Circolare Min. Infrastrutture 617/2009, che nell'Allegato C.7.A.10 precisa i criteri di progettazione e di verifica degli edifici isolati. Ulteriori riferimenti sono contenuti nell'Eurocodice 8, nelle prEN15129 e nelle FEMA 356 (Cap. 9 "Seismic isolation and Energy Dissipation").

Con riferimento allo spettro di accelerazione per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) relativo all'area di Priolo Gargallo per suolo di categoria C (Fig. 1), considerando una vita utile di 50 anni, una classe d'uso IV a cui corrisponde una vita di riferimento di 100 anni e ponendo  $S=\eta=1$ , si osserva la riduzione dell'azione sismica, incrementando il periodo di vibrazione a 1 a 2 sec.

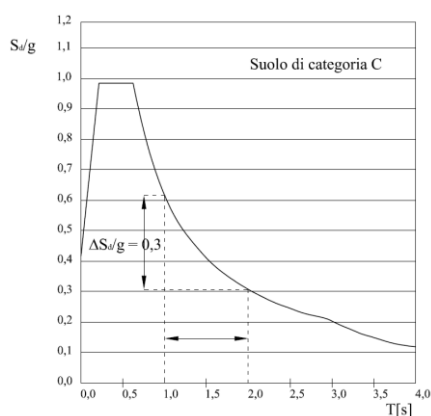


Fig. 1 Variazioni di  $S_d/g$  per incremento del periodo  $T$  da 1 a 2 sec (Priolo Gargallo,  $S=\eta=1$ )

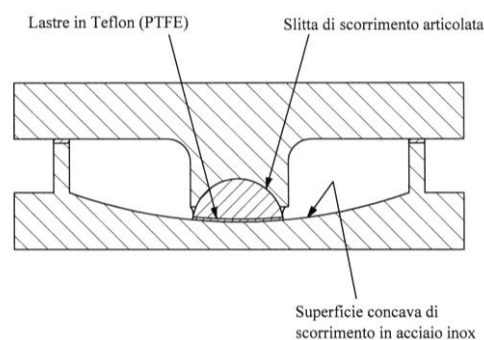


Fig. 2 Sezione di un pendolo ad attrito

Per il dimensionamento degli isolatori occorre controllare i seguenti parametri: rigidità iniziale, forza e spostamento allo snervamento, spostamento ultimo, capacità di auto centraggio. Gli isolatori possono raggrupparsi nelle seguenti categorie: i) isolatori elastomerici; ii) isolatori a scorrimento. Tra gli isolatori a scorrimento occupa una posizione centrale il pendolo ad attrito, che presenta i seguenti vantaggi: caratteristiche pressoché indipendenti dal carico verticale; alta capacità di isolamento; chiara individuazione del periodo proprio di vibrazione; grande durabilità nei confronti degli agenti atmosferici; capacità autocentrante. Lo scorrimento avviene all'interno di una superficie sferica di raggio  $R$ , il quale determina il valore del periodo di vibrazione, indipendentemente dalla massa isolata. Per una struttura isolata di peso  $W$ , massa  $M$  e



raggio di curvatura  $R$ , il periodo di vibrazione  $T_p$  e la rigidezza  $K_p$  valgono, rispettivamente,  $T_p=2\pi(R/g)^{1/2}$  e  $K_p=W/R$ . All'aumento del periodo di vibrazione, ottenuto incrementando il raggio della calotta sferica, corrispondono minori forze orizzontali, ma spostamenti più elevati, con conseguente aumento delle dimensioni del dispositivo, le quali frequentemente raggiungono alcuni metri di diametro. Nella Fig. 2 è indicato un dispositivo a pendolo avente le superfici concava di scorrimento rivestita in acciaio inox. Su di essa può strisciare una slitta costituita da una porzione di sfera, sulla quale può ruotare la porzione superiore fissata alla soprastruttura.

Per controllare l'attrito, una delle superfici a contatto soggetta a strisciamento è rivestita in materiale composito a base di teflon (PTFE politetrafluoroetilene). A detti materiali per azioni statiche, quali quelle indotte dalle variazioni termiche, compete un coefficiente di attrito, variabile da 0.08 per pressioni di 5 MPa a circa 0.03 per pressioni superiori a 30 MPa. Tali valori devono essere incrementati in presenza di velocità di scorrimento elevate, tipiche dei sismi. Per i diametri più elevati, la realizzazione della forme complesse costituenti i dispositivi richiede il ricorso a getti di acciai duttili (*cast iron*). Pertanto, il dispositivo è tale da offrire una reazione trascurabile in presenza di spostamenti derivanti da variazioni termiche, mentre reagisce con forze orizzontali più significative in presenza di azioni impulsive quali quelle indotte dai sismi.

Il comportamento meccanico degli isolatori a pendolo può essere rappresentato in modo semplificato da un legame forza - spostamento rigido plastico incrudente, capace di dissipare un'elevata quantità di energia e caratterizzato da uno snervamento equivalente pari al prodotto del coefficiente di attrito  $\mu$  per il peso sismico  $W$ . Secondo tale modello, il dispositivo non interviene per sismi medio deboli, che esercitano un'azione orizzontale inferiore alla resistenza d'attrito, per i quali va dimensionata la sovrastruttura, in modo che si mantenga in campo elastico; per sismi di intensità più elevata avviene lo scorrimento dell'intera struttura i cui sostegni si spostano all'interno delle superfici sferiche ricavate nei dispositivi, con alti periodi di vibrazione e capacità dissipative elevate. Il legame tra la forza orizzontale  $H$  e lo spostamento orizzontale  $u$  può essere espresso dalla relazione lineare:  $H = \mu \cdot W \cdot \text{sign}(du/dt) + W/R u$ , dalla quale si vede che l'ordinata del diagramma per  $u=0$  è pari a  $\mu W$  e la pendenza del diagramma (coefficiente angolare) è rappresentata dal rapporto  $W/R$ . Al coefficiente di attrito può essere attribuita la legge di variazione:  $\mu = \mu_{\max} - (\mu_{\max} - \mu_{\min}) \cdot e^{-a \cdot \text{abs} \cdot du/dt}$ , essendo  $\mu_{\max}$  e  $\mu_{\min}$  i valori massimo e minimo dei coefficienti di attrito e  $a$  un parametro ricavato sperimentalmente pari a circa 0.15 sec/mm. La forza di richiamo è proporzionale al peso  $W$  gravante sull'isolatore, con conseguente coincidenza del centro delle rigidezze col baricentro e riduzione dei moti torsionali.

La verifica degli isolatori deve essere effettuata considerando uno spettro di risposta incrementato del 20% rispetto a quello adottato per le strutture non isolate (secondo l'OPCM 3431/2005). Le parti che non svolgono una funzione dissipativa devono restare in campo elastico e possedere un coefficiente di sicurezza almeno pari ad 1.5. Le verifiche devono essere suffragate da prove sperimentali eseguite in laboratori qualificati, che si distinguono in prove di qualificazione, tendenti ad accertare l'idoneità del sistema, e prove di accettazione da eseguire sul 20% dei dispositivi. Su almeno un dispositivo verrà anche condotta una prova quasi statica, imponendo almeno 5 cicli completi di deformazioni alternate, con ampiezza massima pari a  $\pm 1.2d_2$ . Il dispositivo non potrà

essere utilizzato nella costruzione, a meno che il suo perfetto funzionamento non sia ripristinabile con la sostituzione degli elementi base.

### **Interventi eseguiti e metodo di calcolo**

La Polimeri Europa S.p.A. del gruppo ENI tra il 2005 ed il 2008 ha provveduto all'adeguamento sismico con isolamento dei seguenti serbatoi ricadenti nell'area industriale di Priolo Gargallo: serbatoio di propilene criogenico DA 1420 - Reparto SG14; serbatoio di etilene criogenico DA 1125 - Reparto SG11; serbatoio di etilene criogenico DA 1135 - Reparto SG11.

Si sono adottati dispositivi di isolamento sismico prodotti dalla Earthquake Protection System Inc. nello stabilimento di Vallejo, California, del tipo a pendolo ad attrito, installati alla sommità dei pilastri di sostegno della piastra di base del serbatoio. Il progetto è stato redatto dall'Ing. Andrea Santangelo secondo le norme all'epoca vigenti (OPCM 3274/2003 e 3431/2005) ed è stato approvato dall'Ufficio del Genio Civile di Siracusa, mentre l'autore e l'ing. B. Selgi hanno effettuato il collaudo statico. Le costruzioni si compongono di serbatoi cilindrici appoggiati su piastre in cemento armato, incastrate su pilastri. Sono state eseguite le seguenti opere: 1) incamiciatura dei pilastri esistenti con corona in betoncino autocompattante ad alta resistenza; 2) taglio di una porzione superiore dei pilastri (Figg. 4 e 5); 3) inserimento di cuffie in acciaio in corrispondenza dei tratti adiacenti al taglio e loro solidarizzazione alle due parti di pilastro; 4) collocazione dei dispositivi di isolamento sismico (Fig. 6). L'isolamento sismico è attuato sia attraverso l'incremento del periodo di vibrazione della struttura, sia attraverso la dissipazione di energia, in relazione al più elevato valore dello smorzamento, dipendente a sua volta dal coefficiente di attrito dinamico del dispositivo.

Le sollecitazioni sulla struttura e sui dispositivi di isolamento indotte dal sisma sono state determinate attraverso l'analisi dinamica non lineare, con integrazione al passo delle equazioni del moto, considerando una serie di accelerogrammi registrati spettrocompatibili aventi durata superiore a 25 sec, i quali sono stati considerati agenti lungo le tre direzioni principali della struttura. Essi sono stati calibrati su quelli dell'OPCM 3274/2003 per zona sismica 1 (strutture strategiche nel Comune di Priolo Gargallo) e terreno tipo C:  $a_g/g=0.35$ ,  $S=1.25$ ,  $T_B=0.15$  sec,  $T_C=0.50$  sec,  $T_D = 2.5$  sec.

La coerenza con lo spettro di riferimento è stata verificata nell'intervallo 0.6-3 sec. Lo smorzamento  $\xi$  adottato nello spettro di risposta per il sistema serbatoio più struttura di sostegno in c.a. è pari a 5% e coincide con quello suggerito dalla normativa vigente, mentre per quanto riguarda la massa liquida si è valutato uno smorzamento percentuale equivalente  $\xi_L$ . Il passaggio dallo spettro elastico a quello spettro di progetto è stato effettuato attraverso un fattore di struttura  $q=1.5$ .

L'azione dinamica del liquido sollecitato dalle azioni sismiche (*sloshing*), che si manifesta come un incremento delle azioni di taglio e di ribaltamento è stata valutata con i metodi di Veletos e Housner. La massa  $M$  del liquido risulta, ai fini del moto, equivalente ad una massa impulsiva  $M_I$ , rigidamente collegata al serbatoio, più una massa convettiva  $M_C$  (effetto *slosh*), connessa al serbatoio attraverso molle elastiche. La massa  $M_I$  è in grado di simulare la risposta del liquido alle azioni impulsive del sisma, mentre la massa  $M_C$  lo è per le azioni più lente. La massa del serbatoio  $M_T$  è concentrata al livello del suo

baricentro, mentre le masse  $M_I$  ed  $M_C$  sono state concentrate ad opportune distanze ( $H_I$  e  $H_C$ ) dalla base rigida che sostiene il fondo del serbatoio.



Fig. 3 Ripresa fotografica nel corso dei lavori

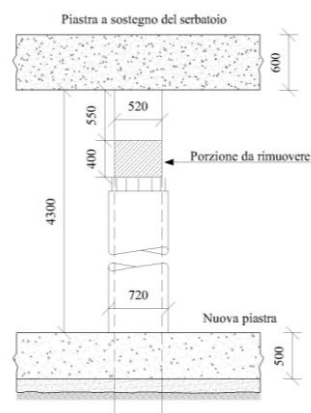


Fig. 4 Interventi di adeguamento delle strutture in c.a. del serbatoio DA 1420



Fig. 5 Asportazione dei conci dei pilastri

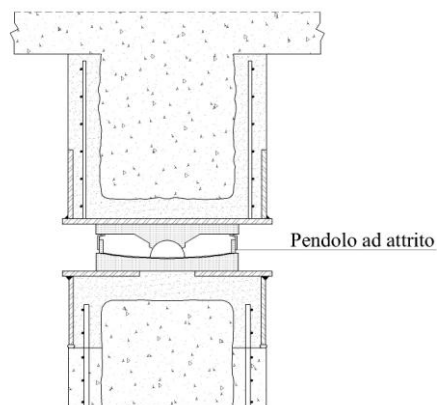


Fig. 6 Inserimento del pendolo ad attrito

La struttura è stata modellata attraverso programmi agli elementi finiti. In una prima fase si è utilizzato il software 3D-BASIS-ME e successivamente il modello completo è stato processato col SAP 2000NL, introducendo nel modello anche i pali di fondazione, ove presenti, opportunamente vincolati in direzione trasversale e verticale ed i dispositivi di isolamento sismico. Per questi ultimi si è adottato un legame costitutivo bilineare isteretico, stabile. I modelli di calcolo utilizzati sono: i) modello di calcolo 3D per la valutazione delle tensioni sulle lamiere del serbatoio generate dalle spinte idrostatiche ed idrodinamiche; ii) modello di calcolo 3D per la valutazione delle sollecitazioni sulla struttura di sostegno in c.a. in presenza del sistema di isolamento; iii) modello di calcolo 3D per la valutazione delle sollecitazioni sulla struttura di fondazione (palificata). Con i provvedimenti descritti le tensioni ideali massime nel mantello in acciaio in presenza di azioni sismiche risultano pari all'87% di quelle di snervamento di calcolo. Analogamente, sono verificate le sollecitazioni sui pilastri in c.a. per i quali sono state incrementate la sezione e le armature, le piastre di base ed i pali.

## Considerazioni conclusive

Gli interventi descritti rappresentano una valida soluzione per l'adeguamento sismico dei serbatoi. Essi sono stati eseguiti senza interrompere la funzionalità, in quanto la realizzazione della piastra di base, il taglio ed il rinforzo dei pilastri e l'inserimento dei dispositivi di isolamento sismico sono avvenuti senza interrompere l'esercizio dei serbatoi, ma soltanto adottando una limitazione della loro capacità di riempimento. Per gli impianti chimici ricadenti nelle aree sismicamente attive è necessario procedere ad una stima della vulnerabilità attraverso indagini microsismiche sui siti di impianto e processi di identificazione dinamica delle strutture, richiedenti la caratterizzazione meccanica dei materiali e la valutazione delle caratteristiche modali del sistema. Infine, per le aree ubicate in prossimità del mare andrebbero adottate opportune misure per fronteggiare gli effetti di maremoti.

## Bibliografia

- Chalhoub M.S. and Kelly J.M. (1988). *Theoretical and experimental studies of cylindrical water tanks in base isolated structures*. EERC 88-07, Earth. Eng. Res. C., Univ. of Calif. Berkeley.
- Chopra A. (2001). *Dynamics of Structures: Theory and Application to Earthquake Engineering*. Prentice - Hall.
- Constantinou M.C. and Roussis P. (2004). Experimental and analytical study of seismically isolated structures with uplift restraint. *13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering* (paper No. 1685), Vancouver, Canada.
- Housner G.W. (1963). The dynamic behaviour of water tanks. *Bullettin of the Seismological Society of America*, 53 (2).
- Kelly T.E. and Mayes R.L. (1989). Seismic isolation of storage tanks, *Proc. Sessions Related to Seismic Engrg. at Structures Congress'89*, ASCE.
- Liu W.K. and Lam D. (1983). Nonlinear analysis of liquid filled tanks, *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 109(6):1344-57, ASCE.
- Malhotra P.K. (1997). New method for seismic base isolation of liquid-storage tanks. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 26.
- Malhotra P.K. (2000). Practical nonlinear seismic isolation analysis of tanks. *Earthquake Spectra*, Vol. 16 (2).
- Mokha A.M., Constantinou M.C. and Reinhorn A.M. (1990). Teflon bearings in base isolation. PART 1 and 2. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 116 (2)
- Santangelo A., Scibilia N., Stadarelli R. (2007). Isolamento sismico di un serbatoio a Priolo Gargallo, *Atti delle Giornate AICAP Salerno*.
- Veletsos A.S. (1984). Seismic response and design of liquid storage tanks, *Guideline for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems*, Tech. Council on Lifeline. Earthquake Eng. ASCE.
- Zayas V.A. and Low D.S. (1995). Application of seismic isolation to industrial tanks. *Proc. Pressure vessels and piping conf.*, ASME/JSME, PVP-Vol. 319.

## SINTESI E CONCLUSIONI

Paolo Clemente  
*ENEA, GLIS e ASSISi*

Alessandro Martelli  
*GLIS e ASSISi*

Gli atti del convegno "Sicurezza sismica degli impianti chimici a rischio di incidente rilevante" organizzato congiuntamente dall'ENEA e dal GLIS, che costituiscono una versione estesa di quanto pubblicato nel numero di febbraio 2013 della rivista di informazione scientifica ed economica *21<sup>mo</sup> Secolo - Scienza e Tecnologia* (Martelli et al. 2013, Clemente & Martelli 2013, Cocina 2013), contengono l'introduzione dell'ing. Giovanni Lelli e un sunto dell'intervento tenuto dal prof. Annibale Mottana in apertura, seguiti, per ciascuna delle tre sessioni in cui si sono articolati i lavori, da alcune note redatte dal presidente della sessione e da sunti delle relazioni, predisposti dai loro autori. Infine, sono riportate le sintesi di alcuni degli interventi degli esperti che, oltre ai tre presidenti di sessione, hanno partecipato alla tavola rotonda.

Più precisamente, i lavori del convegno, aperti dall'ing. Giovanni Lelli, commissario dell'ENEA, e dal prof. Mottana, si sono anzitutto articolati nelle seguenti tre sessioni:

- nella prima, presieduta dal socio onorario del GLIS prof. Michele Maugeri, ordinario di Geotecnica all'Università degli Studi di Catania ed esperto del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, sono intervenuti la dott.ssa Antonella Peresan dell'Università degli Studi di Trieste e dell'*International Center of Theoretical Physics* ("Scenari di pericolosità sismica dipendenti dal tempo") ed il primo autore di questo articolo ("Sicurezza sismica delle strutture industriali");
- nella seconda, presieduta dal prof. Bernardino Chiaia, ordinario di Scienza delle Costruzioni al Politecnico di Torino e membro del consiglio di amministrazione dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), sono intervenuti l'ing. Vicinio Rossini della società TECSA S.p.A. ("Analisi *Na-Tech* per gli impianti chimici industriali"), il segretario generale del GLIS e dell'ASSISi ing. Massimo Forni del Centro Ricerche di Bologna dell'ENEA ("Sistemi innovativi nella protezione sismica degli impianti RIR") ed il socio del GLIS prof. Alessandro De Stefano del Politecnico di Torino ("Attrezzature sperimentali per la qualificazione di dispositivi antisismici per gli impianti RIR");
- nella terza, presieduta dall'ing. Antonio Vizzaccaro dell'Ufficio di Presidenza dell'VIII Commissione Permanente Ambiente, Territorio e Lavori Pubblici della Camera dei Deputati, sono intervenuti l'arch. Chiara Porretta, collaboratrice dell'*Urban Center* di Ferrara ("Costruire la percezione del rischio sismico: conoscenza, informazione e partecipazione"), l'ing. Fabio Dattilo del Dipartimento dei Vigili del Fuoco del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile del Ministero dell'Interno ("La continuità impiantistica in caso di sisma") ed il dott. Francesco Geri del Dipartimento della Protezione Civile ("Indirizzi per la pianificazione ed



attuazione di misure di mitigazione in riferimento ad evento *Na-Tech* su impianti RIR").

Alle tre sessioni suddette è seguito l'intervento dell'On. Angelo Alessandri, presidente dell'VIII Commissione della Camera dei Deputati. Egli ha ricordato le iniziative parlamentari già intraprese sui temi del convegno (Martelli, 2013) ed ha sottolineato l'importanza e l'urgenza di affrontare e risolvere le problematiche emerse (Martelli et al., 2013). Ha concluso i lavori una tavola rotonda, presieduta dal secondo autore di quest'articolo, alla quale sono intervenuti i presidenti delle tre sessioni summenzionate, nonché:

- l'ing. Giovanni Cardinale (consigliere del Consiglio Nazionale degli Ingegneri), in rappresentanza del presidente di tale consiglio, ing. Armando Zambrano).
- l'ing. Salvo Cocina (*Energy Manager* della Regione Siciliana, già Commissario dell'ARPA e Direttore Generale del Dipartimento della Protezione Civile della Regione);
- il dott. Carlo Cremisini (ENEA, Centro Ricerche della Casaccia);
- il socio del GLIS prof. Giovanni Falsone (Università degli Studi di Messina ed Ordine degli Ingegneri della Provincia di Messina, di cui è consigliere);
- il dott. Vincenzo Ferrara (membro della segreteria del Sottosegretario ing. Tullio Fanelli del MATTM);
- il dott. Gian Vito Graziano (presidente del Consiglio Nazionale dei Geologi);
- il prof. Stefano Gresta (presidente dell'INGV).

Il prof. Maugeri, l'ing. Vizzaccaro ed il prof. Falsone hanno anche rappresentato, rispettivamente, l'ing. Massimo Sessa (presidente reggente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici), il prof. Paolo Vigo (presidente della Società Consortile Pa.L.Mer.) e l'ing. Santi Trovato (presidente dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Messina).

Le versioni *pdf* delle presentazioni *power point* delle varie relazioni sono disponibili all'indirizzo [http://www.enea.it/it/enea\\_informa/events/sicurezza-sismica/sicurezza\\_rir](http://www.enea.it/it/enea_informa/events/sicurezza-sismica/sicurezza_rir).

Un filmato che mostra anche alcuni momenti dei lavori è reperibile su "ENEA web TV" all'indirizzo Internet <http://webtv.sede.enea.it/index.php>.

Nel corso dei lavori, così come si era auspicato, si è convenuto sulla necessità e l'urgenza di:

- affrontare adeguatamente il problema della sicurezza sismica ed a fronte di un eventuale maremoto degli impianti chimici RIR italiani, in particolare di quelli petrolchimici di Priolo - Gargallo e di Milazzo;
- sviluppare una normativa specifica per la progettazione antisismica ed anti-maremoto di nuovi impianti di tal tipo e per l'adeguamento sismico di quelli esistenti;
- utilizzare moderni sistemi antisismici, in particolare l'isolamento sismico, nella realizzazione di nuovi impianti e componenti chimici RIR, in particolare (ma non solo) dei serbatoi di Gas Naturale Liquefatto (LNG);
- valutare accuratamente la vulnerabilità sismica degli impianti esistenti e procedere al loro adeguamento, utilizzando, ove possibile, sistemi d'isolamento sismico o dissipativi;
- valutare possibili scenari di incidenti, procedendo all'identificazione delle situazioni di maggior rischio sismico o da maremoto per gli stabilimenti chimici RIR esistenti,



al fine di rendere il sistema di protezione civile capace di fronteggiare adeguatamente eventuali incidenti causati dal danneggiamento o dal collasso degli impianti presenti in tali stabilimenti;

- avviare un corretto programma di informazione partecipata della popolazione, anche in relazione a possibili incidenti causati da terremoti e/o maremoti negli impianti chimici RIR, e far crescere, in essa, la percezione del rischio sismico.

Il convegno, cui hanno partecipato circa 150 persone, ha raggiunto l'obiettivo di riunire rappresentanti di tutte le istituzioni interessate agli argomenti trattati riscuotendo un notevole interesse anche da parte degli organi di stampa (si vedano i riferimenti). Confidiamo che il messaggio forte e finalmente unitario del mondo tecnico-scientifico italiano uscito dal convegno abbia davvero permesso di superare le dannose e sterili polemiche precedenti e sia in grado di stimolare il governo ad affrontare le succitate gravi problematiche con l'indispensabile urgenza, con l'apporto di tutte le competenze a tal fine necessarie.

## Bibliografia

- Clemente P. e Martelli A. (a cura di, 2013). "Atti del convegno tenutosi a Roma il 7 febbraio 2013 – Sicurezza sismica degli impianti chimici a rischio di incidente rilevante". *21<sup>mo</sup> Secolo – Scienza e Tecnologia*, N. 1/2013, pp. 18-33.
- Cocina S. (2013). "Sulla sicurezza sismica dei poli petrolchimici siciliani". *21<sup>mo</sup> Secolo – Scienza e Tecnologia*, N. 1/2013, p. 34.
- Martelli A. (2012). "Gli impegni del GLIS per il 2013 – Promuovere la sicurezza sismica delle scuole e degli impianti chimici a rischio di incidente rilevante". *21<sup>mo</sup> Secolo – Scienza e Tecnologia*, N. 4/2012, pp. 16-25.
- Martelli A., Clemente P. e De Stefano A. (2013). "Le prime iniziative del GLIS nel 2013 – Sicurezza sismica degli impianti chimici a rischio di incidente rilevante e delle scuole italiane". *21<sup>mo</sup> Secolo – Scienza e Tecnologia*, N. 1/2013, pp. 8-14.

## Riferimenti stampa

- Calzolari P. (2013). "Sicurezza sismica e impianti a rischio: convegno a Roma – "Sicurezza sismica degli impianti chimici a rischio di incidente rilevante" questo il titolo del convegno che si terrà a Roma il 7 febbraio e che ospiterà gli interventi dei massimi esperti in materia e di esponenti del mondo politico e istituzionale", *Il Giornale della Protezione Civile*, [www.ilgiornaledellaprotezione.civile.it](http://www.ilgiornaledellaprotezione.civile.it), 30 gennaio.
- Caridi P. (2013). "Rischio sismico: a Roma e Asti due appuntamenti scientifici per dare un messaggio a chi governerà dopo le elezioni", *MeteoWeb*, [www.meteoweb.eu](http://www.meteoweb.eu), 1° febbraio.
- Giallombardo G. (2013). "Milazzo e Priolo-Gargallo impianti a rischio – Terremoto e sindrome di Cassandra – Sicilia polveriera del Mediterraneo", *SiciliaInformazioni.com*, *Cronaca Regionale*, [www.siciliainformazioni.com](http://www.siciliainformazioni.com); *ItaliaInformazioni.com*, *Cronaca Regionale*, [www.italiainformazioni.com](http://www.italiainformazioni.com), 7 febbraio.
- Palermomania (2013). "Roma, 7 febbraio. Convegno sulla Sicurezza sismica degli impianti chimici a rischio di incidente rilevante", *Palermomania.it*, *Comunicati – Eventi*, [www.palermomania.it](http://www.palermomania.it), 01 febbraio.
- Pintus L. (2013). "L'Italia terra sismica: paura per gli impianti industriali a rilevanza strategica, a lanciare il monito, l'Enea in un convegno. Int. Giovanni Lelli (commissario Enea)", *TG2, RAI DUE*, 7 febbraio, ore 18:35.

- Redazione 21<sup>mo</sup> Secolo – Scienza e Tecnologia (2012). "Programma preliminare del convegno Sicurezza Sismica degli Impianti Chimici a Rischio di Incidente Rilevante – 7 febbraio 2013 – ENEA - Via Giulio Romano, 41 – Roma", *21<sup>mo</sup> Secolo – Scienza e Tecnologia*, N. 4/2012 (dicembre), p. 23.
- Redazione Ada/Opr/Adnkronos (2013). "Lelli, molti gli stabilimenti chimici e petrolchimici, pronti con nostre tecnologie", *Ada/Opr/Adnkronos*, 7 febbraio.
- Redazione ADEPRON (2013). "Radio Radicale – Interviste a cura del dott. Enrico Salvatori – 29 gennaio 2013 – Speciale sulla sicurezza sismica degli impianti chimici a rischio d'incidente rilevante (RIR) – Prof. Alessandro Martelli - Già assistente del Direttore Generale per lo sviluppo di tecnologie antisismiche dell'ENEA – Prefetto Franco Gabrielli - Direttore del Dipartimento della Protezione Civile", *ADEPRON, Ingegneria Sismica, Ingegneria e Sicurezza Sismica*, [www.ingegneriasismica.net/index.php/eventi](http://www.ingegneriasismica.net/index.php/eventi), 11 febbraio.
- Redazione AGP (2013). "ENEA: giovedì convegno su sicurezza sismica impianti chimici a rischio incidente", *AGP*, 6 febbraio.
- Redazione ANSA & Notizie Virgilio (2013). "Oltre 1.100 impianti pericolosi; Sicilia Orientale a rischio – Convegno ENEA su sicurezza sismica, tecnologie e prevenzione", *ANSA & Notizie Virgilio*, <http://notizie.virgilio.it/notizie>, 7 febbraio.
- Redazione ANSA (2013). "A rischio 1.100 impianti chimici; ENEA, fare prevenzione convegno su sicurezza sismica; Sicilia Orientale area più esposta", *ANSA*, 7 febbraio.
- Redazione Edilio (2013). "Convegni e seminari. Sicurezza sismica degli impianti chimici", *Edilio – Edilizia Avanti Veloce*, [www.edilio.it](http://www.edilio.it), 31 gennaio.
- Redazione Guidasicilia (2013). "Oltre 1.100 impianti a Rischio di incidente rilevante – Dal convegno all'Enea su sicurezza sismica, tecnologie e prevenzione: il rischio maggiore in Sicilia orientale", *Guidasicilia*, [www.guidasicilia.it](http://www.guidasicilia.it), 9 febbraio.
- Redazione Ingegneri.cc (2013). "Impianti chimici a rischio di incidente rilevante e sicurezza sismica", *Ingegneri.cc*, [www.ingegneri.cc](http://www.ingegneri.cc), 16 gennaio.
- Redazione Ing.Sismica (2013). "Sicurezza sismica degli impianti chimici a rischio di incidente", *Ingegneria Sismica*, [www.ingegneriasismica.net/documenti/2013/eventi/0001EESeventi\\_20130207.pdf](http://www.ingegneriasismica.net/documenti/2013/eventi/0001EESeventi_20130207.pdf), 31 gennaio.
- Redazione Libero 24X7 (2013). "Sicurezza sismica, Enea: serve prevenzione e messa in sicurezza impianti", *Libero 24X7, AG Il Velino*, 7 febbraio.
- Redazione Villaggio Globale (2013). "Terremoto – Due convegni come pro memoria", *Villaggio Globale*, [www.vglobale.it](http://www.vglobale.it), 31 gennaio.
- Salvatori E. (2013). "Speciale RIR. I terremoti, gli impianti a rischio, il ruolo della Protezione civile", *Radio Radicale*, 29 gennaio, ore 19:46, [www.radioradicale.it/scheda/371700/speciale-rir-i-terremoti-gli-impianti-a-rischio-il-ruolo-della-protezione-civile](http://www.radioradicale.it/scheda/371700/speciale-rir-i-terremoti-gli-impianti-a-rischio-il-ruolo-della-protezione-civile).
- V/bem (2013). "Le fabbriche chimiche sono sicure in caso di evento sismico? L'allarme dagli scienziati", *TermolionLine.it*, [www.termolionline.it](http://www.termolionline.it), 7 febbraio.



Edito dall'ENEA  
Servizio Comunicazione  
Lungotevere Thaon di Revel 76 – 00196 Roma  
*www.enea.it*

Copertina: Cristina Lanari

Stampa: Laboratorio Tecnografico - Centro Ricerche ENEA Frascati  
Finito di stampare nel mese di marzo 2013

con il patrocinio di:

**Accademia Nazionale dei Lincei**

**Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL**

**Consiglio Nazionale degli Ingegneri**

**Società Geologica Italiana**

**Parco Scientifico e Tecnologico del Lazio Meridionale**

**Anti-Seismic Systems International Society (Sez. Europea)**



ISBN 978-88-8286-285-5