

LE VERIFICHE SISMICHE NEGLI IMPIANTI A RISCHIO DI INCIDENTI RILEVANTI

Giorgio Brunelli

Societa' Italiana Costruzioni Industriali

In due precedenti articoli [1]-[2] sono state esaminati e discussi gli aspetti tecnici relativi alle verifiche sismiche negli impianti industriali di processo.

Nel presente articolo vengono discusse alcune incertezze interpretative delle normative relative all'applicazione agli Impianti a Rischio di Incidenti Rilevanti (RIR), peraltro non risolte neanche in vigenza del precedente D.Lgs. 334/09.

Il nuovo Decreto Legislativo 105/15 [3] attuativo della Direttiva 2012/18/UE (*Seveso III*) prescrive esplicitamente per gli stabilimenti di soglia superiore di analizzare nel Rapporto di Sicurezza (RdS) gli scenari incidentali connessi con cause naturali come terremoti o inondazioni [4].

Ma anche gli stabilimenti di soglia inferiore soggetti al solo Sistema di Gestione della Sicurezza (SGS) devono analizzare e valutare anche le condizioni anomale di esercizio quali possono senz'altro essere considerate quelle correlate ad un evento sismico [5].

E' da rilevare che gia' la OPCM 3274 del 2003 prescriveva la verifica sismica delle opere che possono assumere rilevanza in relazione all'eventuale collasso.

Anche con riferimento ai dubbi applicativi che verranno esaminati in questo articolo e' necessario chiarire che il D.Lgs. 105/15 non detta prescrizioni puntuali sulle metodologie da adottare per le analisi dei rischi ma lascia questa responsabilita' al Gestore e demanda al CTR competente per territorio la valutazione della idoneita' ed efficacia delle stesse, eventualmente con prescrizioni [6].

1. Opere soggette a verifica

Le categorie di opere da sottoporre a verifica in applicazione del D.Lgs. 105/15 sono quelle che possono innescare uno scenario incidentale in occasione di un evento sismico:

- a) apparecchiature e sistemi di tubazioni contenenti o convoglianti le sostanze pericolose del D.Lgs. 105/15;
- b) apparecchiature non contenenti sostanze pericolose ma il cui danneggiamento o collasso totale puo' innescare uno scenario incidentale nel contesto ambientale circostante;
- c) strutture di supporto delle opere a) e b) quali racks tubazioni, fondazioni, etc.;
- d) fabbricati o magazzini entro cui si lavorano o si depositano sostanze pericolose.

Inoltre non vi e' dubbio che debba sottoporsi a verifica l'impianto di estinzione incendi sia come rete di tubazioni sia come riserva idrica.

Per individuare le opere da verificare e' necessario stabilire in via preliminare se il sito di installazione era gia' classificato sismico ai sensi della legge 02/02/1974 n. 64 e dei relativi Decreti Ministeriali di classificazione regionale, prima della nuova riclassificazione sismica del territorio nazionale eseguita in attuazione della OPCM 3274 del 2003.

Per apparecchiature e strutture costruite ed installate prima del 2003 in zone precedentemente non classificate sismiche e' necessario eseguire le relative verifiche. Le verifiche devono essere eseguite secondo la normativa sismica attualmente vigente.

Per apparecchiature:

- non a pressione
- a pressione non marcate CE costruite prima del 18/04/2000 (PED),
- a pressione marcate CE costruite dopo il 18/04/2000 ma prima del 20/03/2018

e per strutture costruite successivamente alla entrata in vigore della nuova riclassificazione sismica ma prima del 20/03/2018, o comunque installate in zone gia' precedentemente classificate sismiche, e' necessario in via preliminare controllare sulla base dei documenti di progetto se l'intensita' dell'azione sismica prevista in sede di progetto in base alla normativa in vigore al tempo della costruzione sia superiore od inferiore alla intensita' sismica prescritta dalla normativa sismica attualmente vigente; nel secondo caso e' necessario procedere alla verifica .

Per apparecchiature a pressione marcate CE costruite dopo il 20/03/2018, data di entrata in vigore della normativa sismica attualmente vigente (NTC 2018 - *Art. 2.2 regime transitorio per opere in corso di realizzazione al 20/03/2018*), si puo' presumere che le stesse siano conformi ai Requisiti Essenziali di Sicurezza (RES) prescritti dalla Direttiva PED. E' comunque opportuno controllare che al Fabbricante siano state fornite tutte le informazioni necessarie sul sito di installazione, in particolare sulle caratteristiche della fondazione e del suolo di fondazione.

Come sarà chiarito nel prosieguo di questo articolo la verifica della positiva rispondenza di una apparecchiatura o di una struttura alle prescrizioni della normativa sismica attualmente vigente può essere ritenuta non sufficiente in particolare in stabilimenti di soglia superiore.

Naturalmente quanto sopra non solleva dall'obbligo delle verifiche di sicurezza comunque dettate dal D.Lgs. 81/08.

2. Normativa Sismica

La normativa sismica attualmente applicabile in Italia è quella delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018 (NTC 2018) [7] e della relativa Circolare applicativa [8].

Risulta che spesso vengono impropriamente proposte verifiche sismiche di apparecchiature eseguite secondo le NTC 2018. Ciò non è corretto poiché le NTC 2018 si riferiscono a "costruzioni" in senso proprio cioè opere di ingegneria civile ma non hanno previsioni specifiche per tanks od altre apparecchiature di processo. Esse quindi restano direttamente applicabili solamente per fabbricati e per strutture portanti e relative fondazioni.

Tuttavia le NTC 2018 al Cap. 12 prevedono che per quanto non specificato nelle stesse si ritengono coerenti con i principi di base gli Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN e le norme UNI EN armonizzate. Aggiungono infine che possono essere utilizzati anche altri codici internazionali purché sia dimostrato che garantiscono livelli di sicurezza non inferiori a quelli previsti dalle NTC 2018.

Poiché gli Eurocodici non sono norme armonizzate, per la loro utilizzazione si deve ricorrere alle relative Appendici Nazionali [11] ove vengono precisati i parametri tecnici lasciati nella discrezionalità delle Autorità nazionali dagli Eurocodici stessi.

Per apparecchiature di processo quali tanks verticali a fondo piano e tetto fisso, silos e tubazioni si può utilizzare l' Eurocodice 8-4 (EC 8-4) [9] ed la relativa Appendice Nazionale la quale però per quanto riguarda la valutazione della pericolosità sismica del sito di installazione e della relativa accelerazione di riferimento al suolo (PGA) ricalca comunque le prescrizioni delle NTC 2018.

Per i tanks costruiti in opera si può utilizzare la UNI EN 14015 - Annex G [15] che è dichiaratamente la trasposizione con adattamenti della API 650 - Appendix E.

Per altre apparecchiature di tipo cilindrico per la verifica del fasciame si può utilizzare la EN 1993-1-6 e per la verifica degli ancoraggi la EN 1993-1-8 (EC 3-1) [10]

Per le apparecchiature a pressione PED si può applicare la EN 13445 [12], per le apparecchiature in composito la EN 13121 [13], per le tubazioni la EN 13480 [14]. Queste normative sono Norme Armonizzate e direttamente applicabili in qualsiasi paese CE e quindi non sono previste Appendici Nazionali. Anche questi standards per la definizione delle azioni esterne eccezionali quali quelle sismiche rimandano alle normative nazionali e quindi ancora alle NTC 2018. Tuttavia non esiste una norma di legge nazionale, come le NTC 2018, che ne obbliga l'adozione per la costruzione delle apparecchiature di processo. La loro adozione per lo scopo è nella facoltà del Gestore.

In mancanza di una legislazione nazionale specifica relativa alle apparecchiature di processo che prescriva esplicitamente l'osservanza degli Eurocodici, negli impianti petroliferi e petrolchimici presenti in Italia, nazionali e multinazionali, le verifiche possono essere eseguite con riferimento agli standards statunitensi che possono essere accettati come "normativa di comprovata validità" (NTC 2018 - Cap. 12) :

API 650 - *Welded Steel Tanks for Oil Storage* - Appendix E
ASME - *Boiler and Pressure Vessel Code* - Sez. VIII - Div. 1 e 2
ASME B 31.3 - *Process Piping Code*

Anche gli standards statunitensi per quanto riguarda le azioni sismiche in installazioni al di fuori degli USA rimandano alla valutazione secondo i regolamenti locali. La decisione di adottare per le verifiche questi standards alternativi resta al giudizio del Gestore. In generale gli standards statunitensi forniscono risultati più conservativi.

In sintesi le NTC 2018:

- sono direttamente applicabili per la verifica di fabbricati e di strutture di supporto;
- sono applicabili solamente per la valutazione dell'azione sismica di riferimento per le altre apparecchiature di processo.

L' applicazione delle NTC 2018 in impianti RIR presenta alcune incertezze interpretative per quanto riguarda parametri essenziali per la determinazione dell'azione sismica di riferimento :

- Classe d'Uso (Cu)
- Stato Limite di verifica (SLU)
- Vita Nominale (VN - tempo di missione dell'impianto)
- Tipo di verifica
- Codici di calcolo

3. Classe d'Uso

L' EC 8-4 distingue le strutture in quattro Classi di Importanza, in particolare:

- Classe III riferita a situazioni di elevato rischio vita e notevoli conseguenze economiche e sociali in conseguenza di un eventuale collasso;
- Classe IV per rischio vita eccezionale e conseguenze economiche e sociali estreme.

Nell' Appendice Nazionale all'EC 8-4 (par. 2.1.4(8)) l'importanza delle strutture e' tenuta in conto direttamente nella definizione dell' azione sismica mediante la modifica del periodo di ritorno con i Coefficienti d' Uso (CU) correlati alle quattro Classi d' Uso previste; per le attivita' pericolose:

- Classe III : applicabile, tra l'altro, a "Industrie con attivita' pericolose per l'ambiente" (coeff. CU=1.5)
- Classe IV : applicabile, tra l'altro, a "Industrie con attivita' particolarmente pericolose per l'ambiente" (coeff. CU= 2.0)

La Circolare Applicativa [8] per l'individuazione della appropriata Classe rinvia ad un Decreto della Protezione Civile che, in attuazione delle disposizioni della OPCM 3274/03, ha individuato i gruppi di opere da sottoporre a verifica sismica e che nell' Elenco B [16] - "Opere che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso" ha incluso "...Strutture il cui collasso puo' comportare gravi conseguenze in termini di danni ambientali (quali ad esempio impianti a rischio di incidente rilevante...impianti nucleari)...". La Circolare (par. C2.4.2) in base al predetto decreto ha individuato la Classe III per l' Elenco B.

Tuttavia l' Appendice Nazionale alla EN 1998-1 (Norme generali - par. 4.2.5(5)P) ammonisce che per l'attribuzione alle Classi III e IV si deve tener conto anche delle determinazioni regionali in materia.

Ci si e' domandato quindi quali sarebbero le attivita' particolarmente pericolose per l'ambiente da inserire in Classe IV.

Su richiesta di Confindustria Emilia-Romagna, dopo che il CTR aveva declinato la propria competenza in merito, la questione e' stata posta dalla Regione Emilia-Romagna al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici [17]. La 2a Sezione del C.S.LL.PP. non ha sostanzialmente preso posizione rimandando la decisione agli "Enti Territoriali preposti" pur evidenziando l'esigenza di pervenire ad una adeguata armonizzazione a livello normativo tra la materia ambientale e la disciplina della sicurezza delle costruzioni [18].

Un altro possibile motivo di incertezza sorge nella definizione del concetto di "attivita' ".

Le NTC 2018 nell' indicare "Industrie con attivita' pericolose..." sembrano considerare stabilimenti nei quali si svolge una molteplicita' di "attivita'" alcune delle quali possono essere intrinsecamente pericolose mentre altre possono non esserlo, ad esempio la portineria di un stabilimento lontana dagli impianti. Pertanto se il concetto di "attivita'" si riferisce in generale al complesso delle lavorazioni eseguite in uno stabilimento esso trascina nella individuazione della stessa Classe tutte le opere presenti nello stabilimento, anche quelle non intrinsecamente pericolose; se viceversa il concetto di "attivita'" si riferisce alle lavorazioni cui sono destinate le singole opere (cioe' le singole "costruzioni" secondo NTC 2018) a queste potrebbero essere attribuite Classi diverse in funzione della loro intrinseca pericolosita'.

In proposito e' da rilevare che l' EC 8-4 nel definire le Classi di Importanza delle apparecchiature fa riferimento al servizio della singola apparecchiatura e non all' attivita' dell' impianto in cui e' inserita e la Classe di Importanza dipende dalla importanza della sua funzione o dalla pericolosita' delle sostanze contenute o lavorate. Ad esempio ad un serbatoio di acqua, non riserva antincendio, isolato ed il cui collasso non puo' innescare un effetto domino nello stabilimento, secondo una applicazione formalmente letterale delle NTC 2018 dovrebbe essere attribuita una Classe d' Uso III o IV mentre secondo l' EC 8-4 sarebbe sufficiente una Classe di Importanza II (coeff. CU = 1.0).

4. Stati limite di verifica

La Circolare Applicativa [8] prevede (par. C8.3) che per le verifiche delle costruzioni esistenti per azioni sismiche si possano considerare in alternativa due Stati Limite Ultimi (SLU): Stato limite di salvaguardia della vita (SLV) cui corrisponde una probabilita' di ritorno dell'azione sismica nel periodo di riferimento del 10% ovvero Stato limite di collasso (SLC) con probabilita' di ritorno del 5%. La differenza in termini di accelerazione di riferimento al suolo (PGA) e' notevole. Peraltro le stesse NTC 2018 (Cap. 7.1) prevedono che nei confronti degli Stati Limite Ultimi sia sufficiente la verifica del solo SLV qualora siano rispettate le prescrizioni costruttive e progettuali riportate, cosa non scontata nel caso di strutture preesistenti.

E' da tenere presente che NTC e Circolare come gia' detto sono concepite per costruzioni, civili od industriali, che sono provviste di strutture normalmente largamente iperstatiche nelle quali per effetto dell'azione sismica possono svilupparsi meccanismi locali duttili capaci di dissipare energia in campo plastico senza che sia compromessa la stabilita' globale della costruzione.

Viceversa le diverse apparecchiature di processo, con la sola possibile eccezione dei silos supportati da strutture intelaiate, sono strutture normalmente isostatiche prive di membrature con capacita' dissipativa propria appositamente prevista e progettata.

Per queste l' EC 8-4 considera due Stati Limite:

- Stato Limite Ultimo (SLU) correlato alla stabilita' dell'apparecchio sia in termini di cedimento strutturale proprio che in termini di stabilita' globale (ribaltamento, scorrimento); il cedimento strutturale o collasso e' connesso al superamento della tensione limite di snervamento del materiale;
- Stato Limite di Danno (SLD) correlato alla integrita' del sistema ed ad un minimo livello operativo. Se l'apparecchio risulta verificato per lo SLU lo SLD riguarda essenzialmente gli accessori ad esso collegati (piping, strumentazione).

L' Appendice Nazionale all' EC 8-4 (par. 2.1.2(4)P) collega direttamente lo SLU dell' EC 8-4 allo stato limite SLV con probabilita' di ritorno del 10% in 50 anni.

La EN 14015 per la progettazione in zona sismica definisce due Condizioni di progetto (non Stati Limite) da verificare:

- Operating Basis Earthquake (OBE) sisma al quale il tank resiste senza alcun danno (par. 3.1.19);
- Safe Shutdown Earthquake (SSE) sisma che danneggia il tank pur senza causarne il collasso e senza seri rischi conseguenti (par. 3.1.20).

Per le due diverse Condizioni di progetto i carichi sismici devono essere calcolati (par. 7.2.11):

- per l' OBE con una probabilita' di eccedenza del 10% nel tempo di missione previsto per l'apparecchio
- per lo SSE con una probabilita' di eccedenza dell' 1%

Peraltro alcuni studiosi raccomandano per gli impianti RIR stati limite diversi e piu' severi [19].

5. Vita Nominale

La vita nominale VN prevista per un fabbricato o per una struttura, ovvero il "tempo di missione" previsto per un impianto od una apparecchiatura, e' un parametro fondamentale per il calcolo della azione sismica di riferimento. E' anche uno dei parametri la cui fissazione e' largamente nella disponibilita' del Gestore fermo restando un periodo di riferimento VR (VNxCU) minimo di 35 anni.

Per la progettazione di nuove opere non vi possono essere dubbi interpretativi.

Per la verifica di opere esistenti viceversa si pone il dubbio se la VN debba essere riferita alla somma della vita pregressa + la vita residua prevista ovvero alla sola vita residua prevista. Il dubbio e' di non poco conto: si provi ad immaginare l' applicazione delle due diverse possibilita' agli immobili storici interessati dai sismi de L' Aquila e dell' Emilia-Romagna.

Per la verifica delle opere esistenti ne' le NTC 2018 (Cap.8) ne' la Circolare Applicativa (Cap. C8) forniscono direttive o chiarimenti in proposito.

In mancanza di una indicazione normativa precisa, per lo meno per quanto riguarda le apparecchiature di processo, si puo' ipotizzare una soluzione sulla base del seguente ragionamento:

a) se al momento della installazione fossero state in vigore le NTC 2018 l' apparecchiatura si sarebbe dovuta verificare per le azioni sismiche previste dalle NTC 2018 e quindi, per quanto detto precedentemente, con riferimento alla vita nominale totale prevista e con l'applicazione dello stato limite SLV;

b) poiche' in un impianto RIR e' fondamentale la sicurezza futura correlata alla non dispersione di sostanze pericolose ed al non innesco di effetti domino nel contesto ambientale di installazione, considerato che e' comunque ammessa dalla normativa, la verifica si dovrebbe fare con riferimento alla vita residua prevista e con l'applicazione dello stato limite SLC.

c) assumere per la verifica il maggior valore della intensita' sismica risultante dalle due ipotesi precedenti.

E' da notare comunque che la questione e' irrilevante nel caso della Valutazione Affidabilistica della Sicurezza Sismica (succ. par. 6.3).

6. Tipi di verifica

Il termine generico di "verifica" viene normalmente associato ad approcci metodologici diversi cui corrispondono diversi risultati qui di seguito discussi ed anche costi di esecuzione sensibilmente diversi.

6.1 Valutazione della Sicurezza Sismica

E' quella prevista dal Cap. 8.3 delle NTC 2018 e consiste nel verificare la resistenza e la stabilita' delle apparecchiature se sottoposte ad una azione sismica di progetto quale quella prevista dalle norme stesse per il sito di installazione. Questa verifica e' importante per individuare eventuali interventi di "miglioramento sismico" opportuni o necessari per la messa in sicurezza dell'apparecchiatura. Il progetto (o l'eseguito) dell' intervento di miglioramento sismico deve essere a sua volta sottoposto a verifica. Secondo questo approccio i calcoli vengono eseguiti come in sede di progettazione adottando per le variabili aleatorie (azione sismica, resistenza dei materiali, riempimento delle apparecchiature, etc) i loro valori "caratteristici" (frattili di ordine 0.05 per le resistenze dei materiali, di ordine 0.95 per le azioni sfavorevoli).

6.2 Valutazione della Vulnerabilita' Sismica

Il termine "vulnerabilita' sismica" viene spesso attribuito alla Valutazione della Sicurezza Sismica.

Nel presente articolo la Vulnerabilita' Sismica e' definita come rapporto tra la intensita' sismica di progetto prescritta dalla normativa (domanda) e la intensita' sismica che produce il collasso della apparecchiatura (capacita'); se la vulnerabilita' e' maggiore di 1 l'apparecchiatura non e' sicura per le condizioni di progetto previste. Il grado di Vulnerabilita' Sismica cosi' definito corrisponde all'inverso dell' indice di sicurezza della struttura IS-V delle diverse Classi di Rischio Sismico del DM 28/02/2017.

Questa analisi dovra' essere necessariamente eseguita per determinare il coefficiente ζE (capacita'/domanda) che sara' richiesto per la progettazione di eventuali interventi di "miglioramento sismico" dal § 8.4.2 delle nuove NTC in corso di approvazione.

La Sicurezza Sismica e' una condizione di stato, la Vulnerabilita' Sismica e' un parametro numerico.

La verifica viene eseguita con una serie di analisi incrementali statiche (ISA) o dinamiche (IDA) scalando la intensita' sismica di progetto fino a determinare la intensita' sismica che produce il collasso dell'apparecchiatura. Questa analisi fornisce una indicazione quantitativa del Livello di Sicurezza (inverso della Vulnerabilita') disponibile che puo' essere sufficiente per apparecchiature in Seveso di soglia inferiore. Adottando per le variabili aleatorie invece dei loro valori "caratteristici", come si deve in progettazione, i loro valori medi statistici questa analisi puo' fornire una valutazione conservativa del Rischio Sismico (frequenza media annua uguale all' inverso del tempo di ritorno dell'intensita' sismica che produce il collasso).

6.3 Valutazione Affidabilistica della Sicurezza Sismica

Spesso richiamata con l'acronimo QRA (Quantitative Risk Analysis).

Secondo questo approccio la valutazione della sicurezza sismica di una costruzione consiste nella quantificazione della frequenza media annua di superamento di uno stato limite di riferimento che nel caso di apparecchiature contenenti sostanze pericolose in impianti RIR e' sempre lo stato limite di non collasso con riferimento sia alla perdita di tenuta sia al collasso totale.

La differenza rispetto ai due approcci precedenti consiste nel fatto che le variabili aleatorie vengono prese in considerazione come valore medio statistico e deviazione standard. Ad esempio un serbatoio completamente pieno che pure soddisfa la Valutazione di Sicurezza Sismica puo' raggiungere il limite di collasso per una intensita' sismica maggiore di quella prevista dalle NTC 2018 sia pure con una probabilita' inferiore; lo stesso serbatoio se vuoto raggiungerebbe il collasso per una intensita' sismica ancora maggiore con una probabilita' ancora minore. La suscettibilita' al collasso in funzione dei diversi valori che possono essere assunti dalle variabili aleatorie viene descritta da una "curva di fragilita'" che viene combinata con la "curva di pericolosita'" sismica del sito di installazione con il teorema delle probabilita' totali. Ne risulta la frequenza media annua di superamento dello stato limite di non collasso. Questa frequenza risulta necessariamente inferiore all' inverso del Tempo di Ritorno correlato allo SLU assunto in fase di progettazione o di Valutazione della Sicurezza Sismica dato che le variabili aleatorie assumono statisticamente nel tempo valori diversi dai valori caratteristici limite adottati nei precedenti approcci.

Il metodo e' molto complesso e computazionalmente laborioso poiche' per determinare la curva di fragilita' e' necessario eseguire un numero di analisi incrementali (ISA o IDA) pari a 2 elevato al numero di variabili aleatorie prese in considerazione.

Questo tipo di approccio puo' essere richiesto per impianti RIR di soglia superiore ove vengono presi in considerazione scenari incidentali con frequenze medie annue dell' ordine di 10^{-6} . Generalmente i tempi di ritorno correlati alle azioni sismiche previste dalle NTC 2018 per i casi normali si collocano tra i 700 ed i 1500 anni e quindi frequenze annue attese dell' ordine di $10^{-3} \sim 10^{-4}$.

7. Codici di calcolo

Le NTC 2018 non danno indicazioni specifiche riguardo ai metodi di calcolo da impiegare ma richiedono che i software applicativi commerciali siano validati.

Per quanto riguarda fabbricati e strutture di supporto sono di impiego pressoché generalizzato codici di calcolo agli elementi finiti (FEM) appositamente sviluppati e validati per tali strutture.

Per quanto riguarda le apparecchiature di processo l' EC 8-4 non fornisce indicazioni in proposito ma lascia questa scelta alla sensibilita' e responsabilita' del progettista.

Per le apparecchiature e' preferibile utilizzare codici di analisi strutturale numerici sviluppati espressamente per tale impiego, indirizzati alla verifica diretta, secondo EC 8-4 o EN 13445 o API 650, dei punti critici delle apparecchiature ("*hot spots*") con la combinazione di tutte le azioni agenti, carichi statici, componenti dell' azione sismica traslazionali (due orizzontali + verticale), e se del caso rotazionali ("*rocking*") e di interazione fondazione-terreno, e provvisti di un algoritmo di convergenza interno per la soluzione diretta delle verifiche 6.2 o 6.3.

L' impiego di analisi agli elementi finiti (FEA) e' raccomandato dall' EC 8-4 solo per condizioni di progetto particolari.

Spesso vengono proposte verifiche di apparecchiature con l'impiego di software FEM commerciali sviluppati per strutture civili, generalmente di tipo intelaiato. L' adattamento rigoroso di tali codici di calcolo alle apparecchiature di processo presenta sensibili complessita' .

La modellazione precisa di apparecchiature generalmente cilindriche verticali ma anche orizzontali, con fondi torosferici o conici, del loro contenuto se serbatoi, dei supporti, degli ancoraggi e delle fondazioni e' molto impegnativa.

Non e' agevole tenere conto delle tolleranze geometriche di costruzione dei fasciami come ovalizzazione, spessore dei laminati, corrosione e imperfezioni di fabbricazione, determinanti queste ultime per le verifiche di stabilita' elastica ed elasto-plastica, salvo a sviluppare una meshatura estremamente complessa e dettagliata.

I software commerciali, se non appositamente sviluppati per le apparecchiature e validati, sono forniti con moduli post-processor per le verifiche di resistenza e di stabilita' tipiche per le strutture intelaiate. Per le verifiche delle apparecchiature (instabilita', saldature, etc.) sono necessari moduli di calcolo numerico aggiuntivi specifici.

Alcuni codici FEM prevedono un calcolo separato per ciascuna delle componenti traslazionali delle azioni sismiche, per ciascuna delle quali deve essere caricato lo spettro di risposta relativo, e la successiva combinazione (SRSS o CQC) delle tensioni calcolate. Le componenti rotazionali non sono quasi mai previste.

Tutto questo rende computazionalmente molto onerose le verifiche 6.2 o 6.3.

Infine e' sempre necessario il controllo della attendibilita' dei risultati con metodi di analisi strutturale numerici tradizionali.

Gli aspetti squisitamente tecnici sono discussi in [2].

8. Confronti numerici

Per quanto riguarda l'effetto dei diversi parametri di progetto sopra discussi si riportano i parametri sismici calcolati per un sito industriale di coordinate geografiche latitudine 43.5519 N - longitudine 11.5381 E

Parametri di progetto				Pericolosità sismica			
VN	CU	SLU	VR	TR	ag	Fo	Tc*
Vita prevista anni	Classe d'uso	Stato limite anni	periodo rifer.to anni	tempo di ritorno anni	accel. al bedrock m/s ²	fattore amplific. spettro	tempo di riferim. sec.
50	III	SLV	75	711	1.395	2.408	0.305
50	IV	SLV	100	949	1.536	2.409	0.308
50	III	SLC	75	1462	1.750	2.415	0.311
50	IV	SLC	100	1949	1.908	2.419	0.312
200	III	SLV	300	2847	2.093	(2.422)	(0.305)
200	III	SLC	300	5849	2.783		
200	IV	SLV	400	3796	2.410		
200	IV	SLC	400	7798	3.064		

Poiche' il reticolo sismico italiano prevede tempi di ritorno massimi di 2475 anni, per i TR superiori la **ag** e' stata stimata secondo EN 1998-1, par. 2.1.(4).

La **ag** (PGA) rappresenta l' accelerazione massima su suolo rigido di Cat. A e deve essere moltiplicata, in funzione della forma spettrale, per Fo e per il fattore di amplificazione del terreno S al fine di ottenere le accelerazioni spettrali Se(T) o Sd(T) applicabili alla costruzione che, come noto, dipendono dal periodo di vibrazione proprio T dell'apparecchio. Per un terreno pianeggiante di Cat. C il fattore S puo' assumere un valore max. di 1.5.

9. Conclusioni

Nel presente articolo sono state discusse alcune incertezze interpretative della normativa sismica italiana non risolte a livello legislativo.

E' auspicabile che tali incertezze vengano risolte dalle autorita' competenti ed in maniera univoca per tutto il territorio nazionale.

Allo stato attuale il D.Lgs. 105/15 lascia ai Gestori la responsabilita' delle scelte ed ai CTR il compito di valutarne la idoneita' ed efficacia.

Bibliografia

- [1] Brunelli G.: *Verifica degli effetti sismici su tubazioni di impianti industriali* - Impiantistica Italiana, pp. 64-70, - Luglio-Agosto 2013
- [2] Brunelli G., Borgognoni F.: *Verifica sismica delle apparecchiature industriali di processo* - Impiantistica Italiana, pp. 64-77, - Novembre-Dicembre 2014
- [3] Decreto Legislativo 26/06/2015, n. 105 - G.U. 14/07/2015, n. 161 - S.O. n. 38
- [4] *Ibid.*, Art. 15 e Allegato C, Parte 1, par. C.4.1
- [5] *Ibid.*, Art. 14 e Allegato B, par. 3.3.1 e 3.3.2
- [6] *Ibid.*, Art. 15 e Allegato C, Parte 3
- [7]. D.M. 17/01/2018 - *Norme Tecniche per le Costruzioni* - Cap. 3.2 e 7
- [8]. Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Circolare 21/01/2019
- [9]. EN 1998-4 - *Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance - Part 4: Silos, tanks and pipelines*
- [10]. EN 1993-1 - *Eurocode 3 - Design of steel structures - Part. 1-6: Strength and Stability of Shell Structures - Part. 1-8: Design of joints*

- [11]. D.M. 31/07/2012 - *Approvazione delle Appendici nazionali recanti i parametri tecnici per l'applicazione degli Eurocodici*
- [12]. EN 13445-3 - *Unfired pressure vessels - Part 3 - Design*
- [13]. EN 13121 - *GRP tanks and vessels for use above ground*

- [14]. EN 13480-3 - *Metallic industrial piping - Part 3: Design and calculation*
- [15] EN 14015 - *Specification for the design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed, above ground, welded, steel tanks for the storage of liquids at ambient temperature and above*
- [16]. Decreto CDPC 21/10/2003 n. 3685 - Allegato 1 - Elenco B - n. 2.
- [17]. Regione Emilia-Romagna - Assessorato Sicurezza Territoriale - PG.2010.0224451 del 14/09/2010
- [18]. Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - *Prot. 1812616 del 26/01/2011*
- [19]. M. Maugeri e P. Clemente in ENEA - GLIS: *Giornata di studio sulla sicurezza sismica degli impianti chimici a rischio di incidenti rilevanti - Atti - Roma, 7 Febbraio 2013*

Aggiornamento : 26/05/2017

Revisione: 26/05/2017

Il presente documento e' di proprieta' della Societa' Italiana Costruzioni Industriali e viene concesso, per consultazione, a documentazione delle metodologie e procedure di calcolo adottate dalla societa' nell'analisi dello specifico tecnico.

Questo documento non puo' essere ceduto o divulgato a terzi senza il consenso scritto della Societa' Italiana Costruzioni Industriali ne' puo' essere utilizzato per scopi diversi da quello per il quale e' stato rilasciato.

10,10,5,10