



Valutazione e gestione del rischio sismico negli stabilimenti con pericolo di incidente rilevante

Alessandra Marino ^a, Mariano Ciucci ^a, Linda Barbieri Vita ^a, Ornella Palermo ^a, Gianluca Quinci ^b

^a INAIL, Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti Prodotti e Insediamenti Antropici, Centro di Ricerche INAIL Casilino, Via del Torraccio di Torrenova 7, 00133 Roma (RM), Italy

^b Università degli Studi Roma Tre, Dipartimento di Ingegneria Civile, Via Vito Volterra 62, 00146 Roma (RM), Italy

Keywords: stabilimenti industriali; pericolo di incidente rilevante; terremoto; valutazione del rischio sismico; tecnologie Smart.

ABSTRACT

La valutazione del rischio sismico negli stabilimenti industriali soggetti al D. Lgs. n. 105 del 26 giugno 2015 assume una notevole importanza anche nell'ambito della prevenzione e della gestione di potenziali eventi Na-Tech. L'obiettivo di questo contributo è fornire alcune indicazioni e chiarimenti in merito all'iter metodologico da seguire per la valutazione ed la gestione del rischio sismico negli stabilimenti con pericolo di incidente rilevante, confrontando i vari riferimenti normativi che regolano questo aspetto ed illustrando le possibili soluzioni, come le Smart Technologies, da adottare sulla base di casi pratici. Le possibili vulnerabilità delle opere e delle apparecchiature di processo che rientrano negli impianti a pericolo di incidente rilevante ed i potenziali fattori di rischio principalmente correlati alla presenza ed al trattamento di sostanze pericolose devono essere identificati mediante un'adeguata valutazione della sicurezza in base ai requisiti del NTC 2018 e sulla base dell'analisi dei rischi effettuata ai sensi del D. Lgs. n. 105 del 26 giugno 2015. A seconda dei risultati ottenuti, il Gestore sarà facilitato nella scelta di adeguate misure di prevenzione, gestione e mitigazione delle conseguenze derivanti dagli scenari incidentali presi in considerazione.

1 INTRODUZIONE

La valutazione del rischio sismico negli stabilimenti industriali soggetti al D. Lgs. n. 105 del 26 giugno 2015 assume una notevole importanza anche nell'ambito della prevenzione e della gestione di potenziali eventi Na-Tech. In caso di terremoto, la valutazione del rischio sismico nelle attività con pericolo di incidente rilevante è molto complessa perché l'interazione tra l'evento naturale e l'unità di processo può determinare danni simultanei, innescando più rilasci di sostanze pericolose con la possibilità di produrre catene di eventi multipli e interagenti con possibili conseguenze sulla popolazione, sui beni e sull'ambiente. In base a quanto affermato, il rischio sismico è uno dei più significativi nell'ambito degli eventi Na-Tech (Natural Hazard Triggering Technological Disasters).

Ai fini di una corretta valutazione di tutti i potenziali rischi cui lo stabilimento industriale è esposto, è necessario considerare il sisma quale evento catastrofico di origine naturale e, quindi, procedere alla valutazione della sicurezza ed all'analisi di rischio di opere e di apparecchiature di processo presenti nelle attività con pericolo di incidente rilevante.



Figura 1. Approccio per la valutazione del rischio sismico

In Italia, la valutazione della sicurezza nel caso di stabilimenti industriali esistenti ed ex novo deve essere eseguita sulla base di quanto prescritto dal D.M. 17 gennaio 2018 (NTC 2018) e dalla Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 C.S.LL.PP.

A prescindere dai risultati ottenuti a seguito della valutazione della sicurezza, è necessario effettuare l'analisi di rischio ai sensi del D. Lgs. n. 105 del 26 giugno 2015 per tener conto di tutti i possibili rischi derivanti dalla presenza e dalla lavorazione di sostanze pericolose all'interno dello stabilimento industriale.

Questo iter metodologico si pone quale obiettivo l'individuazione di eventuali vulnerabilità ai fini di una corretta gestione nella fase di prevenzione dei rischi: infatti, l'esito della valutazione della sicurezza e dell'analisi di rischio agevola il Gestore dello stabilimento industriale nella scelta di opportune misure di mitigazione del rischio.



Figura 2. Iter metodologico per la valutazione del rischio sismico di stabilimenti industriali soggetti al D. Lgs. n. 105 del 26 giugno 2015

2 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

La valutazione della sicurezza ai sensi delle NTC 2018 si basa su un approccio semi-probabilistico: infatti, i valori caratteristici (frattili di ordine 0,05 per le resistenze dei materiali e di ordine 0,95 per le azioni agenti) si trasformano in valori di calcolo mediante l'impiego di opportuni coefficienti di sicurezza.

Tale metodologia è finalizzata all'effettuazione della verifica sismica delle strutture ricadenti all'interno dell'attività industriale. La verifica sismica interessa principalmente le componenti propriamente strutturali, vale a dire le apparecchiature di processo come serbatoi e tubazioni; opere di supporto a serbatoi e tubazioni, quali ad esempio racks; opere di importanza strategica all'interno dell'attività, quali sale di manovra e di controllo; fabbricati o magazzini entro cui si lavorano o si depositano sostanze pericolose.

La verifica sismica delle strutture esistenti ai sensi delle NTC 2018 è obbligatoria e si esplica mediante la valutazione della sicurezza, vale a dire mediante un procedimento quantitativo il cui obiettivo è la definizione del livello di sicurezza ζ_E della struttura allo stato di fatto.

Il livello di sicurezza ζ_E è definito come il rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dall'opera esistente e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di un'opera ex novo sul medesimo sito e con le medesime caratteristiche.

Qualora il livello di sicurezza ζ_E dovesse risultare inferiore all'unità, la verifica non risulterebbe soddisfatta; in questo caso, le NTC 2018 considerano la possibilità di valutare eventuali progetti degli interventi al fine di migliorare la condizione dello stato di fatto. L'obiettivo è quello di non ridurre e, se possibile, di incrementare il livello di sicurezza ζ_E dell'opera in funzione delle indicazioni previste dai § 8.4.1, § 8.4.2, § 8.4.3 delle NTC 2018.

2.1 Riferimenti normativi

L'obbligo di valutazione della sicurezza nel caso di stabilimenti industriali esistenti viene introdotto dall'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003: tale riferimento prescrive (art. 2, comma 3) l'"obbligo di procedere a verifica, da effettuarsi a cura dei proprietari sia degli edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile sia degli edifici e delle opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso".

Interviene il Decreto del 21 ottobre 2003 recante le Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2, 3 e 4, dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 nell'inserire tra le Categorie di edifici ed opere infrastrutturali di competenza statale che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso le "Strutture il cui collasso può comportare gravi conseguenze in termini di danni ambientali (quali ad esempio impianti a rischio di incidente rilevante ai sensi del decreto legislativo 17 agosto 1999, n. 334, e successive modifiche ed integrazioni, impianti nucleari di cui al decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230, e successive modifiche ed integrazioni".

Inoltre, si ricorda che la valutazione della sicurezza deve effettuarsi quando ricorra anche una sola delle situazioni, secondo quanto prescritto al § 8.3 delle NTC 2018.

2.2 Determinazione dell'azione sismica

Ai fini della determinazione dell'azione sismica, in prima istanza si definisce la pericolosità sismica di base, funzione dell'accelerazione orizzontale massima attesa al sito in condizione di campo libero, sottosuolo rigido e pianeggiante, ovvero ricadente in categoria A e condizione topografica T1. Entrando con le coordinate del sito nell'Allegato B delle NTC 2008 (Allegato a cui rimandano le NTC 2018), si ottengono i parametri fondamentali per i vari periodi di ritorno: l'accelerazione orizzontale massima attesa a_g , il valore massimo del fattore di amplificazione F_0 , il periodo di inizio del tratto a velocità costante T^*_C .

Successivamente, si individuano i dati di input necessari per il calcolo dello spettro elastico di risposta in accelerazione agli Stati Limite.

Nel caso delle apparecchiature di processo si assume una vita nominale V_N con valore minimo di 50 anni considerando il "tempo di missione" di tali opere: infatti, si tratta di una categoria di attività che per il loro elevato contenuto tecnologico sono soggette a frequente manutenzione e rinnovamento, così da far fronte a fenomeni di usura e di obsolescenza.

Le attività con pericolo di incidente rilevante ricadono nella Classe d'uso IV in quanto definite come "industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente". Questa interpretazione trova conferma nelle prescrizioni delle NTC: infatti, in relazione alle conseguenze sull'ambiente e sulla pubblica incolumità determinate dal raggiungimento degli Stati Limite, la Circolare stabilisce di utilizzare cautelativamente un coefficiente associato alla Classe d'uso IV, C_U pari a 2,50 per attività con pericolo di incidente rilevante con possibili scenari incidentali con impatto esterno all'attività stessa ed un C_U pari a 2,00 per attività con pericolo di incidente rilevante per le quali lo scenario incidentale resta confinato all'interno dell'attività stessa.

Si determina il periodo di riferimento V_R come prodotto di V_N e C_U .

Infine, si calcola il Tempo di ritorno T_R secondo quanto indicato dal § 3.2.1 delle NTC 2018 e dal § C3.2.1 della Circolare Applicativa alle NTC 2018, in funzione dei valori di probabilità di superamento P_{VR} dei quattro Stati Limite pari rispettivamente a 81%, 63%, 10% e 5%.

Infine, per definire lo spettro elastico di risposta in accelerazione di progetto si procede alla caratterizzazione geologica/geotecnica del sito ed alla relativa modellazione mediante indagini in situ e prove in laboratorio, per poi effettuare la

valutazione della Risposta Sismica Locale (RSL). La valutazione della Risposta Sismica Locale può essere ricondotta a due approcci: metodo semplificato oppure uso di storie temporali abbinate a specifiche analisi numeriche.

3 ANALISI DI RISCHIO

L'analisi di rischio si basa su un approccio probabilistico. Le variabili aleatorie prese in considerazione sono espresse in termini di valore medio statistico e deviazione standard: vale a dire che per le variabili aleatorie, come la resistenza dei materiali e le azioni agenti, si adottano i corrispondenti valori medi statistici, invece dei loro valori caratteristici.

L'analisi di rischio di tipo qualitativo e quantitativo può essere eseguita mediante svariate metodologie di calcolo presenti nella letteratura scientifica. Di seguito, a titolo divulgativo si riportano alcuni dei metodi di analisi di rischio di tipo qualitativo tra i più noti e consolidati in letteratura scientifica: metodi indicizzati, Criteri di affidabilità, disponibilità, manutenzione e sicurezza, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), Hazard and Operability Analysis (HAZOP), Fault and Tree event Analysis (FTA), Analisi della sicurezza funzionale, Calcolo del rischio sociale ed individuale.

Nella valutazione del rischio sismico di apparecchiature di processo in cui sono contenute sostanze pericolose si fa per lo più riferimento all'analisi di rischio di tipo quantitativo nota con l'acronimo QRA, Quantitative Risk Analysis. Questo approccio è volto a determinare la frequenza media annua di superamento di uno stato limite di riferimento di un certo evento incidentale.

3.1 Riferimenti normativi

Il Gestore è tenuto ad effettuare l'analisi di rischio ai sensi del D. Lgs. n. 105 del 26 giugno 2015 per tener conto di tutti i possibili rischi derivanti dalla presenza e dalla lavorazione di sostanze pericolose all'interno dello stabilimento industriale, utilizzando in maniera adeguata i risultati ottenuti a seguito della valutazione della sicurezza. Gli allegati al D. Lgs. n. 105 del 26 giugno 2015 in merito ai contenuti del Rapporto di Sicurezza ed ai contenuti del SGS-PIR (Sistema di Gestione della Sicurezza – Pericolo di Incidente Rilevante) fanno esplicito riferimento all'analisi di rischio.

3.2 Confronto metodologico

A differenza di quanto accade nell'ambito della valutazione della sicurezza, l'analisi di rischio consente di ottenere una conoscenza molto più ampia delle vulnerabilità dell'opera e dei rischi potenziali cui essa è esposta, tenendo in considerazione le criticità delle componenti strutturali, delle componenti non strutturali, ed in particolare i rischi derivanti dalla presenza di sostanze pericolose all'interno dell'attività.

Infatti, mentre la valutazione della sicurezza è un procedimento quantitativo che considera l'interazione sisma-struttura, l'analisi di rischio prende in considerazione tutti i possibili scenari incidentali che possono verificarsi, anche quelli non noti e non previsti esplicitamente da normativa, proprio perché derivanti dall'interazione sisma-struttura-sostanza pericolosa.

Tenendo conto di questo aspetto, lo stato limite di riferimento non corrisponde necessariamente allo stato limite di collasso nel caso di apparecchiature di processo contenenti sostanze pericolose: il terremoto può tanto provocare il collasso della struttura, quale conseguenza diretta all'azione sismica, e può tanto provocare danneggiamenti vari che implicano, dapprima la perdita di tenuta dell'apparecchiatura di processo, quindi il rilascio di sostanza pericolosa con potenziale innesco di scenari incidentali (incendi, esplosioni, ecc.), infine il collasso della struttura. Pertanto, si assume lo stato limite ultimo in riferimento sia al collasso della struttura sia alla perdita di tenuta e ad un eventuale rilascio di sostanza pericolosa.

4 CASI STUDIO

L'analisi storica di eventi Na-Tech verificatesi negli stabilimenti industriali conferma che spesso il sisma provoca uno o più scenari incidentali, cui si arriva anche senza il collasso o l'evidente danneggiamento di componenti propriamente strutturali ricadenti nell'attività.

A dimostrazione di quanto detto, si riportano di seguito un paio di esempi circa i fenomeni e le rispettive conseguenze che si possono verificare nel caso di sisma. I fenomeni di vulnerabilità analizzati di seguito, l'effetto dello sloshing nel caso di serbatoi con tetto galleggiante ed il rilascio di sostanza pericolosa da piping, pur essendo indotti dal sisma non sono riconducibili esclusivamente al collasso e ad evidente danneggiamento delle componenti propriamente strutturali.

4.1 Sloshing

Si considerano di seguito gli effetti dello sloshing nel caso di serbatoi con tetto galleggiante.

Il tetto galleggiante consente la conservazione dei liquidi ad alta pressione di vapore (oli grezzi, nafta, benzina); è una tecnologia costruttiva che permette la riduzione delle perdite di evaporazione, limitando le emissioni atmosferiche.

Nel momento in cui l'onda sismica investe il serbatoio, si valutano gli effetti che scaturiscono dall'interazione struttura-fluido. La massa fluida sottoposta a sisma presenta un doppio modo di vibrare: uno fondamentale corrispondente a movimenti laterali e traslatori ed uno di secondo ordine corrispondente a rotazioni. Le tensioni e, dunque, i movimenti della massa fluida sotto l'azione sismica vengono trasferiti al tetto galleggiante con la possibilità di inclinazione, di sbilanciamento e di affondamento dello stesso, di urti e danneggiamenti del mantello del serbatoio, di fuoriuscita della sostanza pericolosa e della perdita di tenuta da parte dell'anello sommitale con esposizione all'atmosfera della sostanza pericolosa e conseguente potenziale innesco.



Figura 3. Terremoto di Izmit (Turchia) del 17 agosto 1999 con Mw 7,4 - Tupras refinery: fuoriuscita di idrocarburo a seguito del danneggiamento dell'anello sommitale



Figura 4. Terremoto di Izmit (Turchia) del 17 agosto 1999 con Mw 7,4 - Tupras refinery: collasso dei serbatoi a seguito dell'incendio provocato dall'innesco dell'idrocarburo esposto

Un caso esemplificativo di sloshing indotto dal sisma è quello verificatosi nella raffineria Tupras a seguito del terremoto di Izmit nel 1999 come mostrato nelle figure 3 e 4.

Alla luce di quanto illustrato nel presente contributo ed alla luce di quanto confermato dall'esperienza, il Gestore dell'attività ricadente nel campo di applicazione del D. Lgs. n. 105 del 26 giugno 2015, valutando gli esiti della valutazione della sicurezza e dell'analisi di rischio, potrà scegliere in maniera più mirata ed opportuna le misure di mitigazione del rischio.

Nel caso in analisi, l'oscillazione della massa fluida all'interno del serbatoio può essere limitata ricorrendo all'inserimento di barriere filtranti (anelli e setti) nel serbatoio oppure inserendo dispositivi come i Suspended Anular Buffles (SAB) per contenere il rollio del fluido e vincolare la massa costituita dal tetto galleggiante.

4.2 Rilascio da piping

Si considerino due elementi di impianto A e B dotati rispettivamente di massa m_A e m_B e di rigidezza k_A e k_B , e l'elemento di connessione C interposto linearmente tra i due elementi, come mostrato in figura 5.

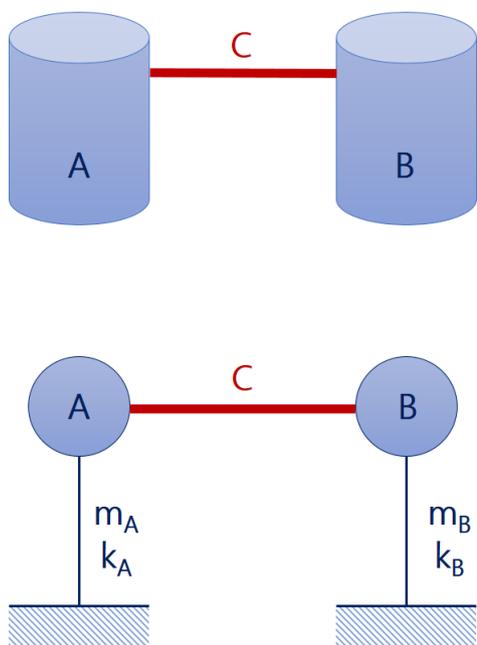


Figura 5. Piping con configurazione lineare

Nel momento in cui il sistema viene investito da un'onda sismica, il modo di vibrare del sistema sarà condizionato dai valori delle rispettive masse e rigidità, nonché dalla flessibilità dell'elemento di connessione. L'elemento di connessione, quale può essere una tubazione (piping), risulta di per sé

vulnerabile. Durante il sisma, l'elemento di connessione è sottoposto a notevoli sforzi (compressione, trazione, torsione) in conseguenza degli spostamenti relativi indotti dal sisma; questi possono dar luogo a danneggiamenti, quindi a perdita di tenuta e ad eventuali rilasci di sostanza pericolosa. Anche in questo caso, si arriva allo sviluppo di un probabile scenario incidentale senza che ci sia il collasso o il danneggiamento delle componenti strutturali. Infatti, il rilascio da piping può verificarsi a prescindere dalle condizioni degli elementi di impianto A e B; quindi, il fenomeno considerato può verificarsi anche quando gli elementi di impianto A e B soddisfano le verifiche sismiche relative alla valutazione della sicurezza.

Per ovviare a questo tipo di vulnerabilità, si potrebbe ricorrere ad una tubazione con una configurazione geometrica che prevede l'inserimento di gomiti, come mostrato in figura 6. Tale configurazione è più flessibile e presenta quindi una maggiore capacità deformativa nei confronti degli spostamenti indotti dal sisma.

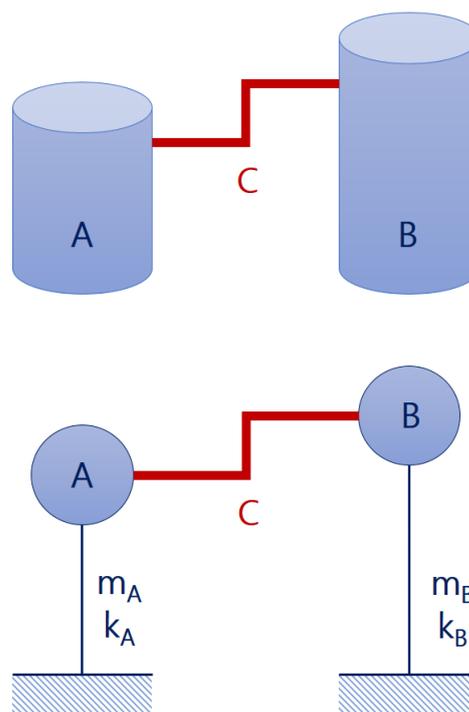


Figura 6. Piping con configurazione a gomito

5 MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO

Quando la valutazione della sicurezza è inadeguata, e ancora quando non è possibile intervenire direttamente sulle componenti strutturali, si può mitigare il rischio ricorrendo all'impegno delle Smart Technologies. Si tratta di sensori in grado di attivare autonomamente valvole di chiusura di tubazioni, in caso di rilascio di

materiale. In tal modo è possibile ricalcolare l'indice di rischio e valutarne il livello di abbattimento. La guida nella scelta del posizionamento del sistema Smart è evidentemente legata all'analisi delle condizioni di rilascio ed alle relative frequenze attese.

L'implementazione delle tecnologie Smart (sensori, attuatori e sistemi innovativi per la protezione sismica) nei componenti critici di un impianto ha come scopo primario la riduzione del rischio di incidente rilevante e le inevitabili conseguenze in presenza di eventi sismici e prevede l'impiego di sistemi di monitoraggio e controllo ad hoc.

Nel presente lavoro sono stati individuati sensori di varia natura, spesso integrati in specifici sistemi per il monitoraggio strutturale e l'individuazione del rilascio di sostanze pericolose. I sensori attualmente disponibili sul mercato e utilmente impiegabili a tale scopo possono essere così suddivisi:

1. Sensori per la misura delle deformazioni.
2. Sensori per la misura delle accelerazioni.
3. Sensori per la misura della temperatura.
4. Sensori per il rilevamento di rilascio di sostanze.

Al primo gruppo appartengono i sensori più tradizionali in grado di misurare, anche in tempo reale la deformazione in un punto della struttura. Essi sono di natura resistiva e hanno in genere una elevata sensibilità di misura. Hanno di contro lo svantaggio di dover essere posti in punti specifici della struttura nei quali si prevede lo sviluppo delle deformazioni maggiori e necessitano, quindi, di uno studio preliminare della risposta sismica.



Figura 7. Strain Gauges



Figura 8. Shutdown valves

A tale famiglia appartengono gli Strain Gauges (figura 7), i potenziometri lineari classici (figura 9) o a filo (trasduttori di estensione, così come gli inclinometri lineari (figura 10). Queste tipologie di sensori necessitano in genere di un sistema di acquisizione permanente in situ in grado di leggere le deformazioni di continuo.

Gli Strain Gauges misurano il livello di deformazione locale in punti critici dell'impianto (ad esempio gomiti di tubazioni o serbatoi) nei quali si prevedono particolari concentrazioni di tensione. In tal caso, potrebbero essere utilizzati come riferimento per l'attivazione di sistemi di mitigazione come ad esempio la chiusura di una valvola (shutdown valves, figura 8) o attivazione automatica dell'impianto antincendio.

Potenzimetri lineari e a filo sono in grado di monitorare a distanza, se dotati di trasmissione wireless, la posizione relativa tra due punti fissi.

Gli inclinometri lineari, invece, forniscono in output un angolo di inclinazione. Essi possono essere utilizzati sia per la misura di spostamenti che rotazioni.



Figura 9. Potenzimetro lineare



Figura 10. Inclinometro lineare

Ad esempio, nel caso di giunti flangiati, è possibile misurare sia l'estensione assiale dello stesso sia la rotazione relativa tra le flange mediante coppie di sensori, come mostrato in figura 11 (Reza et al 2014).

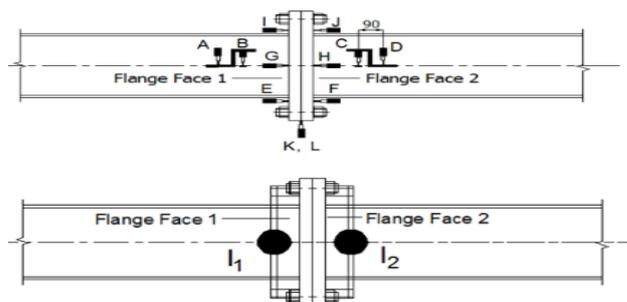


Figura 11. Installazione di potenziometri e inclinometri su di un giunto flangiato

Un ulteriore sensore è costituito da un accelerometro in grado di leggere le onde-P, quindi con qualche secondo di anticipo rispetto alle onde S (Marino et al. 2017). Anche in tal caso è possibile comandare valvole di ritegno per la chiusura di un flusso di materiale pericoloso (figura 12).

Una tipologia alternativa e ampiamente utilizzata nell'industria chimica per l'individuazione dei rilasci di sostanze pericolose è

quella che permette la misura di variazioni di temperatura, associata ai rilasci di sostanze. A tale famiglia di sensori appartengono le fibre ottiche che sono state spesso utilizzate per l'identificazione dei rilasci di sostanze pericolose nelle tubazioni di raffinerie o in pipelines per il trasporto del gas e dell'olio (Inaudi and Walder 2013), come mostrato in figura 14.



Figura 12. Accelerometro MEMS



Figura 13. Sensore GDA di rilevamento sostanze



Figura 14. Fibre ottiche applicate su di un gomito per l'identificazione di possibili rilasci di sostanze

I sensori per il rilevamento del rilascio di sostanze (figura 13), infine, permettono di misurare la concentrazione di una determinata sostanza presente nell'aria, andando ad individuare quei valori maggiori di una certa soglia prestabilita.

6 APPLICAZIONE DEI SENSORI SMART

Relativamente alle principali tipologie di serbatoi esistenti e ai relativi stati di danno sismico più frequenti, sono state identificate le possibili applicazioni dei sensori Smart. Sono state così scelte le tipologie di sensori, tra quelle proposte nel paragrafo precedente, più adatte al monitoraggio di tali danni e in grado attivare, se necessario, opportuni sistemi di sicurezza mitigando così gli effetti dell'incidente.

Nel caso di serbatoi non ancorati, può essere individuato un possibile rilascio nella zona di giunzione tra il serbatoio e le tubazioni di entrata ed uscita. Tale rilascio può essere causato dal meccanismo di uplifting e/o dallo scorrimento della base, tipici dei serbatoi non ancorati, che potrebbero

provocare un eccessivo spostamento relativo tra il serbatoio e le tubazioni vincolate al terreno (figura 15).

In una situazione del genere, il movimento relativo tra serbatoio e tubazione può essere monitorato attraverso un sensore di deformazione quale i trasduttori di estensione descritto nel paragrafo precedente, monitorando la posizione relativa tra due punti, uno relativo al punto di giunzione tubatura-serbatoio ed uno relativo al terreno (Punto B e Punto C).

In questo modo è possibile individuare lo spostamento o la rotazione relativa tubazione-terreno ed intervenire con la chiusura della valvola di sicurezza del sistema, qualora tali valori risultino essere maggiori dei valori limite.

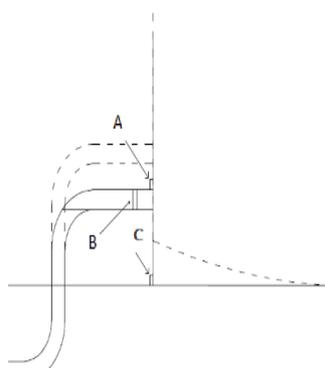


Figura 15. Posizionamento sensori per il monitoraggio del meccanismo di uplifting per serbatoi non ancorati

Un'altra tipologia di apparecchiatura largamente diffusa negli impianti di processo è quella delle colonne di distillazione o separazione. Per questa tipologia strutturale, le analisi storiche relative ai danni causati dai terremoti, hanno mostrato come le zone più sensibili siano quelle delle giunzioni tra la colonna e le tubazioni collegate alle varie altezze in particolare per quella posta in sommità della colonna. In ogni caso, il meccanismo da monitorare è quello relativo alla rotazione del sistema colonna-tubazione.

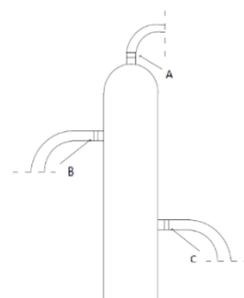


Figura 16. Monitoraggio della giunzione colonna-tubatura

Anche in questo caso, attraverso l'installazione di opportuni inclinometri lineari wireless (Punto A,

Punto B e Punto C di figura 16) è possibile monitorare il valore della rotazione relativa tubazione-colonna nei punti poco accessibili, intervenendo con la conseguente chiusura della valvola di sicurezza, qualora tale valore risulti essere maggiore della soglia limite prestabilita.

Per i serbatoi orizzontali in pressione (serbatoi LNG o separatori), può essere utile monitorare sia lo spostamento relativo tra il serbatoio e le tubazioni collegate ad esso che la rotazione relativa del giunto di collegamento. Attraverso l'uso di estensimetri lineari è possibile monitorare lo scorrimento relativo tra serbatoio e terreno, dovuto all'oscillazione del serbatoio sotto l'effetto del sisma rispetto al terreno, ad esempio nel punto A della figura 17. Per quanto riguarda la rotazione relativa dei giunti tubi/serbatoio, essa può essere monitorata mediante inclinometri wireless (Punto A, Punto B e Punto C di figura 17).

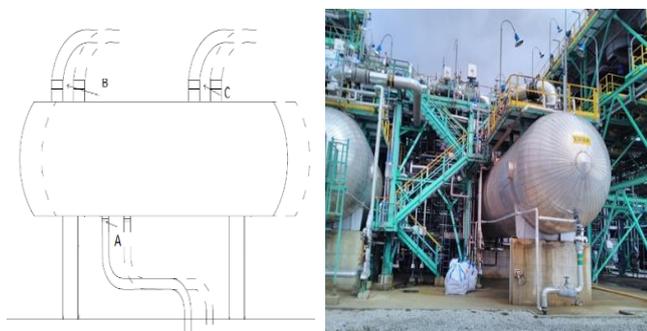


Figura 17. Posizione dei sensori di monitoraggio per serbatoi

7 CONCLUSIONI

Sulla base di quanto esposto nel presente contributo, le eventuali vulnerabilità delle opere e delle apparecchiature di processo ricadenti negli stabilimenti con pericolo di incidente rilevante ed i potenziali fattori di rischio legati principalmente alla presenza ed alla lavorazione di sostanze pericolose devono essere individuati mediante opportuna valutazione della sicurezza secondo le prescrizioni delle NTC 2018 e sulla base dell'analisi di rischio effettuata ai sensi del D. Lgs. n. 105 del 26 giugno 2015. In funzione dei risultati ottenuti, il Gestore verrà agevolato nella scelta di idonee misure di prevenzione, gestione e mitigazione delle conseguenze.

Come illustrato, l'utilizzo di sensori basati su tecnologie Smart costituisce una risorsa preziosa per acquisire dati utili a ridurre le conseguenze di un rilascio di materiale pericoloso. L'uso di sensori per il monitoraggio locale dei punti più sensibili permette infatti l'attivazione di sistemi in grado di

limitare sia la fuoriuscita di sostanze pericolose, sia di contenere possibili effetti domino.

L'iter metodologico esposto circa la valutazione della sicurezza e l'analisi di rischio nei confronti degli eventi sismici e la successiva scelta di misure di mitigazione basate anche su tecnologie Smart rappresentano aspetti complementari che si collocano perfettamente in un'ottica di prevenzione, intesa come insieme di strategie atte a contribuire alla resilienza di un sistema. Resilienza intesa come la capacità intrinseca di un sistema complesso di adattare il proprio funzionamento prima, durante e in seguito ad un cambiamento o ad una perturbazione, in modo da poter continuare le operazioni necessarie sia in condizioni previste che in condizioni impreviste.

RIFERIMENTI

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003.
- Decreto del 21 ottobre 2003. *Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2, 3 e 4, dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003.*
- Decreto Legislativo n. 81 del 09 aprile 2008. *Testo Unico sulla Sicurezza nei Luoghi di Lavoro.*
- Brunelli G., 2013. Verifica degli effetti sismici su tubazioni di impianti industriali, *Impiantistica Italiana*, **Luglio-Agosto 2013**, 64-70.
- Inaudi D., Walder R., 2013. Automated test system for monitoring the efficacy and reliability of leakage detection systems in pipelines, *Rio Pipeline Conference & Exposition 2013.*
- Reza M., Bursi O. S., Paolacci F., Kumar A., 2014. Enhanced seismic performance of non-standard bolted flange joints for petrochemical piping systems, *Journal of Loss Prevention in Process Industry*, **30**, 124-136.
- Brunelli G., Borgognoni F., 2014. Verifica sismica delle apparecchiature industriali di processo. Metodologie di calcolo della vulnerabilità di impianti con riferimento alle norme tecniche e agli standard applicabili in Italia, *Impiantistica Italiana*, **Novembre-Dicembre 2014**, 64-77.
- Decreto Legislativo n. 105 del 26 giugno 2015. *Attuazione della Direttiva 2012/18/UE relativa al controllo del pericolo di incidenti rilevanti connessi con sostanze pericolose.*
- Marino, A., Ciucci, M., Paolacci, F., 2017. Smart technologies for integrated natural risk management: Innovative methodologies and remote sensing, *American Society of Mechanical Engineers, Pressure Vessels and Piping Division PVP, ASME PVP 2018 Conference*, **8**.
- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018. *Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni.*
- Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 C.S.LL.PP.
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 31 marzo 1989. *Applicazione dell'art. 12 del decreto del Presidente della Repubblica 17 maggio 1988, n. 175, concernente rischi rilevanti connessi a determinate attività industriali.*

- Cescon E., Sartor M., 2010. La Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). *Il Sole 24 ore*.
- Leemis L., 1995. *Reliability: Probabilistic Models and Statistical Methods*, Prentice-Hall.
- IEC 61882 2001 *Hazard and operability studies (HAZOP studies). Application guide*
- M. Hosseini, M. A. Goudarzi, A. Soroor. 2017. Reduction of seismic sloshing in floating roof liquid storage tanks by using a Suspended Annular Baffle (SAB). *Journal of Fluids and Structures*, **Volume 71**, **May 2017**, 40-55.