



Verifica degli effetti sismici su tubazioni di impianti industriali

Analisi dei meccanismi di formazione delle sovrappressioni e depressioni e loro conseguenze sulle strutture portanti

Giorgio Brunelli
Società Italiana Costruzioni Industriali

L'analisi sismica dei sistemi di tubazioni non risulta allo stato attuale sufficientemente studiata a livello di ricerca scientifica e la loro progettazione è per lo più guidata dalle prescrizioni dei diversi codici e delle normative applicabili (EN 13480-3, ASME B31.3). In Italia inoltre si applicano le Norme Tecniche sulle Costruzioni adottate con DM 14/01/2008 (NTC 2008) derivate dall'Eurocodice 8. Diverse iniziative di studio sono in corso per l'analisi degli effetti sismici sulle condotte interrate, in particolare quelle costruite in conglomerato cementizio [1].

Per quanto riguarda i sistemi di tubazioni degli impianti industriali, chimici e petrolchimici, lo studio che appare più interessante è quello di F. Paolacci del Dipartimento Strutture dell'Università di Roma 3 [2]. Lo studio esamina il comportamento sotto sisma di un sistema di tubazioni aeree su rack e le reciproche interazioni, confrontando i risultati ottenuti con metodi di modellazione e di analisi diversi. In particolare, sono analizzati i modi di vibrare della struttura rack e delle tubazioni e sono forniti, in termini di sollecitazioni flessionali nelle tubazioni, i risultati del calcolo con analisi statica lineare, con analisi dinamica e con accelerogrammi in campo non lineare.

Le tubazioni sono modellate sia come trave (*beam*) sia come sezione cava (*shell*). Tuttavia, le azioni e gli effetti sulle tubazioni sono essenzialmente considerati in un'ottica meccanico-strutturale. Le sollecitazioni flessionali nelle tubazioni derivano non tanto dalla sollecitazione inerziale propria quanto piuttosto dagli spostamenti relativi degli appoggi sulla struttura rack. In particolare, non è considerata l'interazione tra la tubazione e il fluido contenuto che, in caso di liquido, comporta spesso una massa anche maggiore di quella del tubo. Il sistema tubazione-fluido è considerato come massa complessiva soggetta alle azioni sismiche applicate.

Viceversa, analogamente a quanto si verifica in caso di sisma per i serbatoi di stoccaggio, non si può prescindere dall'azione idrodinamica dei fluidi contenuti che, nel caso dei liquidi, ha come conseguenza il formarsi all'interno delle tubazioni di sovrappressioni e di depressioni, che introducono sollecitazioni aggiuntive in tutti i componenti della tubazione stessa e sui relativi supporti e ancoraggi e quindi sulla struttura rack.

In effetti l'Eurocodice 8 (UNI EN 1998-4), mentre per i serbatoi prescrive di prendere in considerazione l'azione idrodinamica del fluido contenuto, non fornisce alcuna indicazione in proposito per quanto riguarda le tubazioni. Questa sembra una sensibile carenza della norma. Quindi, di seguito si esaminano i diversi meccanismi di formazione delle sovrappressioni e depressioni e le loro conseguenze

sulle strutture portanti. Si riportano anche i risultati di un calcolo per una tipica linea di circuito termico eseguito con un programma sviluppato specificamente per l'analisi dei sistemi di tubazioni.

1. Considerazioni preliminari

Le moderne metodologie di progettazione per azioni sismiche adottano programmi di calcolo agli elementi finiti, con analisi modale o integrazione al passo. Nel caso di sistemi di tubazioni questi programmi dovrebbero includere algoritmi di calcolo che mettano in conto gli effetti idrodinamici del sisma sui fluidi contenuti.

Per semplificare la comprensione di tali effetti è utile che un sistema di tubazioni, sempre nell'ambito delle prescrizioni delle NTC 2008:

- sia considerato come elemento secondario non strutturale;
- sia analizzato mediante analisi statica lineare con spettro di risposta elastico (metodo delle forze laterali, UNI EN 1998-4, 5.4.2.(3)).

Peraltro, tale metodo di calcolo risulta più conservativo e a favore della maggiore sicurezza.

Il metodo di calcolo delle azioni sismiche mediante analisi statica lineare consiste nell'applicare alla struttura delle forze pari al prodotto delle masse per l'accelerazione sismica di progetto opportunamente calcolata. In realtà, l'effetto del sisma consiste in uno spostamento oscillatorio orizzontale e verticale del terreno a cui corrisponde una accelerazione massima al suolo (PGA); l'accelerazione sismica di progetto viene derivata dalla PGA per mezzo dello spettro di risposta elastico in funzione delle caratteristiche della struttura ed è l'accelerazione necessaria che subisce la struttura per seguire il terreno nel suo movimento.

Come noto le azioni sismiche sono caratterizzate da due componenti traslazionali orizzontali fra di loro ortogonali e da una componente verticale. Nel caso di analisi statica lineare gli effetti delle azioni sono calcolati separatamente per le tre componenti e sono quindi fra di loro composti nella combinazione più gravosa. Le due direzioni ortogonali sono scelte arbitrariamente; per una tubazione è conveniente scegliere le due direzioni parallela e ortogonale all'asse della tubazione.

Per meglio comprendere l'effetto delle azioni sismiche su di un fluido è opportuno richiamare il principio della quantità di moto: la variazione del moto, e quindi l'accelerazione, di un fluido, anche se confinato entro una tubazione, può avvenire solamente in conseguenza di una differenza di pressione (al netto della differenza di pressione stazionaria necessaria per vincere le perdite di carico). Nel caso dell'azione sismica ortogonale all'asse della tubazione questa si esplica come leggera differenza di pressione tra il semitubo disposto dal lato di provenienza del moto, che per semplicità chiameremo lato "soprasisma", e il semitubo dal lato verso cui si indirizza il moto, lato "sottosima". Poiché il moto

Le tubazioni sono modellate sia come trave (*beam*) sia come sezione cava (*shell*). Tuttavia, le azioni e gli effetti sulle tubazioni sono essenzialmente considerati in un'ottica meccanico-strutturale



è oscillatorio lato soprasisma e lato sottosisma si alternano e non si devono intendere come riferiti al punto di origine più o meno remoto ove si è prodotto l'evento sismico.

Nel caso dell'azione sismica parallela all'asse del tubo, il fluido per seguire la tubazione nel suo moto deve essere sottoposto a una differenza di pressione tra l'estremità della tubazione soprasisma e l'estremità della tubazione sottosisma tale da imprimere alla massa di fluido compresa fra le due estremità una accelerazione eguale a quella imposta al sistema esterno, essendo del tutto insufficiente l'attrito fra fluido e pareti della tubazione.

La pressione effettiva che si produce in un punto della tubazione si calcola quindi sommando alla pressione del punto del sistema idraulico a pressione costante e/o controllata (PPC) la differenza di pressione calcolata applicando l'accelerazione di progetto alla massa di fluido per la parte disposta parallelamente alla direzione del moto compresa tra il punto in esame e il PPC.

La differenza di pressione può essere positiva o negativa a seconda che il PPC si trovi sottosisma ovvero soprasisma rispetto al punto in esame. Ovviamente, poiché il moto sismico è oscillatorio, in ogni punto si alternano sovrappressioni e depressioni.

Nel caso di linee di trasferimento il PPC è normalmente costituito dal serbatoio di destinazione, se a pressione atmosferica, ovvero dall'apparecchio di destinazione nel quale il controllo della pressione sia esercitato sul gas o vapore soprastante. Nel caso di circuiti idraulici di circolazione, quali ad esempio i circuiti termici, il PPC è costituito, per le linee di mandata, dalla mandata delle pompe di circolazione e, per le linee di ritorno, dal vaso di espansione (a pressione atmosferica o a pressione di gas).

In prima approssimazione la prevalenza delle pompe di mandata si può ritenere costante rispetto alle perturbazioni transitorie conseguenti agli effetti sismici. Tuttavia, nel momento in cui le pompe di circolazione vengono a trovarsi in posizione soprasisma rispetto al PPC, e la sovrappressione supera la prevalenza a portata nulla delle pompe, si produce evidentemente la chiusura più o meno istantanea delle valvole di ritegno di mandata.

Viceversa, nel momento in cui le pompe vengono a trovarsi in posizione sottosisma e la depressione risulta inferiore alla tensione di vapore del fluido, con cavitazione, la portata aumenta transitoriamente fino al valore corrispondente alla ridotta differenza di pressione tra mandata e aspirazione.

Sono possibili diversi meccanismi per la formazione delle sovrappressioni e depressioni interne alle tubazioni che possono essere distinte in:

- sovrappressioni e depressioni di tipo inerziale;

- sovrappressioni di tipo idrodinamico.

2. Sovrappressioni sismiche

Nel valutare l'effetto meccanico delle sovrappressioni interne conseguenti alle azioni sismiche si deve ovviamente mettere in conto anche la pressione interna operativa in regime stazionario nel punto della linea considerata e aggiungere gli effetti pseudostatici degli spostamenti relativi degli appoggi sulla struttura rack.

2.1 Sovrappressione e depressione inerziale

Nel momento in cui il moto è diretto dal punto della linea in esame verso il PPC, la massima sovrappressione è pari al prodotto:

- accelerazione di progetto \times densità del fluido \times distanza (orizzontale) tra il punto in esame e il PPC

Nel caso di azione sismica ortogonale all'asse tubazione la distanza è misurata ortogonalmente tra PPC e asse tubazione. Nel caso di azione si-

Nel caso di circuiti idraulici di circolazione, quali ad esempio i circuiti termici, il PPC è costituito, per le linee di mandata, dalla mandata delle pompe di circolazione e, per le linee di ritorno, dal vaso di espansione (a pressione atmosferica o a pressione di gas)

smica parallela all'asse tubazione la distanza è misurata parallelamente tra PPC e punto in esame. Al termine della fase di accelerazione sismica la sovrappressione si annulla.

Con l'inversione del moto sismico si genera una depressione di valore uguale e contrario. Tuttavia, questa può essere limitata dalla tensione di vapore del fluido (il caso è considerato nel paragrafo 2.3).

Questa impostazione di calcolo presuppone implicitamente che il fluido sia incompressibile, la tubazione rigida e il moto del terreno sincrono in corrispondenza delle estremità della tubazione. Questa impostazione può ritenersi sufficientemente valida per distanze di alcune centinaia di metri, mentre per distanze maggiori condurrebbe a sovrappressioni inerziali abnormi, manifestamente irrealistiche. In quest'ultimo caso, per distanze rilevanti, si tiene conto della compressibilità del fluido, dell'elasticità della tubazione e dell'asincronia e variabilità spaziale del moto.

2.2. Decelerazione dinamica

Nel momento in cui il moto sismico è diretto dal PPC verso il punto in esame, al termine della fase di accelerazione il fluido ha raggiunto la massima velocità di spostamento sismica del sistema (al netto della velocità interna del fluido nella tubazione in re-

gime stazionario). Prima dell'inversione del moto il sistema deve decelerare fino a velocità nulla. Questa decelerazione nel punto del sistema idraulico planimetricamente più lontano dal PPC e più sfavorito in termini di elevazione rispetto al suolo (più basso) produce un effetto di colpo d'ariete, con relativa sovrappressione dinamica, che si propaga con la velocità dell'onda di pressione a tutto il sistema a monte e quindi anche nel punto della

Questa decelerazione nel punto del sistema idraulico planimetricamente più lontano dal PPC e più sfavorito in termini di elevazione rispetto al suolo (più basso) produce un effetto di colpo d'ariete, con relativa sovrappressione dinamica

pore del fluido in forma pseudosinusoidale [3]. Al termine della fase di accelerazione, venendo ad annullarsi la depressione inerziale, la cavita-

zione si richiude sotto la spinta della sola differenza di pressione tra PPC e tensione di vapore del fluido, con effetto di colpo d'ariete analogo a quello del paragrafo 2.2. In questo caso però il tempo di richiusura è istantaneo. La velocità significativa è pari alla differenza tra la velocità del fluido nella tubazione in regime stazionario (non sismico) e la velocità del fluido massima raggiunta entro la tubazione in fase di riassorbimento.

Ai fini del calcolo della cavitazione è rilevante la velocità relativa del fluido rispetto alla tubazione e non la velocità assoluta rispetto al suolo esterno.

Il calcolo rigoroso è molto complesso e richiede una integrazione numerica per intervalli di tempo finiti degli spostamenti relativi fra tubazione e fluido contenuto basata su di un accelerogramma di progetto. In via semplificata, ma conservativa, si possono adottare, e confrontare, due approcci diversi:

- calcolo ad accelerazione costante uguale alla accelerazione spettrale di progetto;
- calcolo con moto sismico del suolo rappresentato in forma pseudosinusoidale.

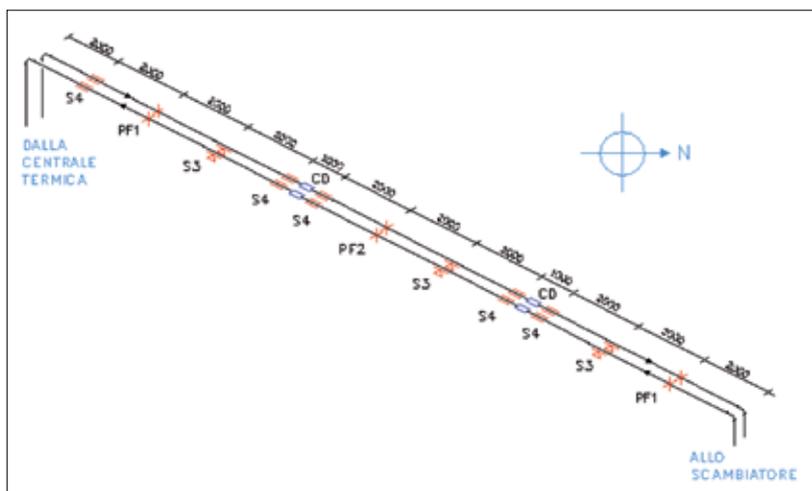


Fig. 1 - Risultati di un calcolo dei carichi applicati ai supporti nel caso di una tratta su rack di un tipico circuito termico

tubazione in esame.

La velocità dell'onda di pressione e la sovrappressione dinamica si calcolano applicando le equazioni del colpo d'ariete e dipendono dalle caratteristiche meccaniche del fluido e della tubazione, dalla massima velocità assoluta di spostamento raggiunta dal fluido e dal tempo di decelerazione del sistema struttura portante-tubazione.

La massima velocità di spostamento e il tempo di decelerazione dipendono dall'accelerogramma del sisma assunto in progetto. Dipendentemente dalle caratteristiche meccaniche e plani-altimetriche del sistema e dalle dinamiche del sisma, la sovrappressione per decelerazione può risultare superiore o inferiore alla sovrappressione inerziale.

2.3 Cavitazione dinamica

Sempre nel momento in cui il moto sismico è diretto dal PPC verso il punto in esame, se la depressione inerziale, calcolata come al paragrafo 2.1 ma per il punto planimetricamente più lontano dal PPC e più sfavorito (più alto), produce una pressione assoluta totale inferiore alla tensione di vapore del fluido alla temperatura operativa, si genera una cavitazione diffusa, con evaporazione del fluido nel tratto di tubazione compreso tra il punto planimetricamente più lontano e il punto lungo linea in cui la depressione inerziale rispetto al PPC è uguale alla differenza tra pressione nel PPC e tensione di va-

2.4 Sovrappressioni risultanti

Ai fini delle verifiche di resistenza della tubazione e delle strutture di supporto si assume la massima fra le sovrappressioni calcolate come ai paragrafi 2.1, 2.2, e 2.3, ciascuna calcolata separatamente per le due direzioni ortogonali prescelte per le azioni sismiche orizzontali, e quindi combinata con gli altri effetti meccanici indotti nella tubazione.

Tutti i componenti della tubazione (tubi, raccordi, valvole, giunzioni ecc.) devono essere verificati per tali effetti.

3.0 Analisi dei carichi sui supporti

Per meglio comprendere l'entità degli effetti delle azioni sismiche sulle tubazioni e sulle strutture di supporto si riportano i risultati di un calcolo dei carichi applicati ai supporti nel caso di una tratta su rack di un tipico circuito termico come descritto nella **figura 1**. Nella tratta in esame sono presenti:

- compensatori di dilatazione di tipo assiale non autoequilibrato (CD);
- punti fissi (PF1 e PF2);
- supporti non guidati (S3);
- guide assiali (S4).

Casi di linee di trasferimento più semplici sono facilmente analizzabili.

Per ciascun supporto si devono considerare separatamente le azioni permanenti correlate alla

Tab. 1 – Calcolo per il sistema riportato nella figura 1 eseguito per la linea di mandata e sulla base dei dati di progetto

Sito di installazione:	Italia Centrale, 95 m.s.l.m.
accelerazione massima al suolo ag	1,626 m/s ² correlata a un tempo di ritorno di 583 anni
categoria del sottosuolo	C
categoria topografica	T1
periodo del primo modo della struttura portante	0,484 s (parallelo e ortogonale)
diametro della tubazione	DN 150 EN 10216
materiale	acciaio al carbonio
elevazione della linea	+7,5 m
distanza dal PPC parallela	36,3 m
distanza dal PPC ortogonale	119 m
lunghezza complessiva della linea	217 m
pressione al PPC	2,75 barG
fluido	olio diatermico a 240 °C
densità	748 kg/m ³
tensione di vapore	40 mbarA

configurazione del sistema e le azioni variabili conseguenti alla dinamica sismica. Le azioni variabili devono essere calcolate separatamente per azione sismica parallela ovvero ortogonale all'asse della tubazione. Linea di mandata e linea di ritorno sono soggette ad azioni permanenti e azioni variabili differenti e quindi devono essere verificate separatamente. Naturalmente i due effetti sul supporto, se comune, devono essere sommati.

Il calcolo riportato a titolo di esempio per il sistema descritto nella figura è stato eseguito per la linea di mandata e sulla base dei dati di progetto riassunti nella **tabella 1**.

Il calcolo è stato eseguito per il punto fisso PF1 a Nord Est.

3.1 Punto fisso di estremità PF1

I punti fissi di estremità sono due. Dalle considerazioni dei paragrafi precedenti consegue che il punto fisso più sollecitato risulta essere quello situato a NE - lato dello scambiatore, in quanto planimetricamente più lontano dalla centrale termica e in quanto a servizio di un tratto maggiore di tubazione e coincidente con il punto idraulicamente più sfavorito. Le azioni sul punto fisso prese in considerazione sono le seguenti ove nel peso proprio della tubazione devono intendersi compresi tubo, coibentazione ed eventuali carichi localizzati (carichi fissi, quali raccordi, flange, valvole ecc.).

3.2 Azioni permanenti

Ortogonal verticali

Sono date dai pesi propri della tubazione e del fluido contenuto.

Ortogonal orizzontali

Sono assenti

Assiali

- azione della pressione interna stazionaria del

fluido, non equilibrata per la presenza del compensatore di dilatazione;

- spinta del compensatore di dilatazione dovuta alla reazione alla dilatazione termica della tubazione tra temperatura di montaggio e temperatura di esercizio; alla spinta del compensatore deve essere aggiunta la resistenza alla dilatazione per attrito della tubazione sui propri supporti;
- spinta sulla curva terminale per variazione della quantità di moto conseguente alla deviazione di velocità del fluido nella curva stessa.

3.3 Azioni variabili sismiche

Azioni verticali

Le azioni sismiche verticali sono calcolate applicando l'accelerazione spettrale verticale di progetto alle masse della tubazione e del fluido contenuto.

Azioni orizzontali ortogonali

Le azioni sismiche orizzontali sono calcolate applicando l'accelerazione spettrale di progetto ortogonale alle masse della tubazione e del fluido contenuto.

Azioni orizzontali parallele (assiali)

Le azioni orizzontali parallele sono composte da una parte, solo inerziale, relativa ai carichi fissi della tubazione, e da una parte relativa alla azione sismica sul fluido contenuto. La prima si calcola come per le azioni ortogonali, ma con riferimento solo alle masse della tubazione e alla accelerazione spettrale di progetto parallela. La seconda si concretizza (come visto al paragrafo 2) con una sovrappressione nel caso in cui il moto sia diretto dal punto in esame verso il PPC ovvero con una depressione nel caso contrario.

Gli effetti di queste sovrappressioni sul punto fisso sono analoghi a quelli della pressione di esercizio, ma si calcolano sulla base della massima tra le sovrappressioni inerziale o dinamiche applicata a:

- sezione netta della tubazione, agente sulla curva terminale di estremità e trasmessa al punto fisso dal tratto di tubazione compreso tra punto fisso e curva terminale;
- sezione netta del soffietto del compensatore di dilatazione contiguo e trasmessa al punto fisso dalla tubazione compresa fra di esso e il compensatore.

3.3.4 Differenti configurazioni

Nel caso in cui i compensatori di dilatazione siano del tipo a omega, con compensatori a soffietto angolari, ovvero assiali a spinta eliminata, la pressione interna stazionaria e le sovrappressioni sismiche dinamiche sono interamente autoequilibrate, mentre la sovrappressione inerziale

La sovrappressione inerziale, nel caso di accelerazione nella direzione dell'asse tubazione, è differente in corrispondenza delle due curve terminali per il valore corrispondente alla accelerazione spettrale di progetto applicata alla massa di fluido compresa tra le due curve

parallela si applica solo per la distanza tra compensatore e curva terminale. Per compensatori a omega integrali si deve mettere in conto la spinta assiale generata dalla pressione interna e dalle sovrappressioni sismiche ("effetto Bourdon").

In caso di assenza dei compensatori di dilatazione, con punto fisso unico, le sovrappressioni dinamiche sono autoequilibrate nelle curve terminali, qualunque sia la direzione del moto, quindi il loro effetto si esplica solo come trazione assiale nella tubazione ma non sul punto fisso.

La sovrappressione inerziale, nel caso di accelerazione nella direzione dell'asse tubazione, è differente in corrispondenza delle due curve terminali per il valore corrispondente alla accelerazione spettrale di progetto applicata alla massa di fluido compresa tra le due curve. L'effetto risulta in trazioni assiali opposte nei tratti di tubazione compresi tra curve terminali e punto fisso, mentre la loro differenza si esplica come spinta assiale sul punto fisso. L'effetto combinato sul

punto fisso è equivalente al considerare convenzionalmente la massa totale della tubazione soggetta all'accelerazione di progetto.

3.4 Carichi trasmessi

Per chiarezza di interpretazione dei risultati sono stati considerati assenti i carichi, permanenti o variabili, verticali od orizzontali, trasmessi dalla curva terminale, calcolabili sulla base della configurazione della tubazione disposta oltre la curva terminale.

3.5 Carichi risultanti sul punto fisso PF1

Il calcolo è stato eseguito con un programma specifico sviluppato per l'analisi dei sistemi di tubazioni adatto ad analizzare diverse configurazioni e diverse condizioni operative. I carichi applicati al punto fisso PF1 sono riportati nella **tabella 2**.

Come si vede, nel caso in esame l'effetto delle sovrappressioni sismiche provoca quasi un raddoppio del carico assiale sul punto fisso, nel caso di azione sismica parallela e in assenza di cavitazione, mentre nel caso di azione sismica ortogonale, in presenza di cavitazione l'aumento è del 160%.

Nel caso dell'azione sismica parallela non si forma cavitazione poiché la depressione inerziale, in valore assoluto uguale alla sovrappressione, risulta minore della pressione operativa stazionaria meno la tensione di vapore del fluido.

La sovrappressione per decelerazione è differente per azione sismica parallela od ortogonale in conseguenza del diverso periodo proprio di vibrazione della tubazione in senso assiale o trasversale.

Nel caso di azione sismica ortogonale la sovrappressione per decelerazione risulta inferiore alla sovrappressione inerziale poiché il tempo di decelerazione è maggiore del semiperiodo di oscillazione idraulica del fluido entro la tubazione. Quest'ultimo dipende dalla lunghezza complessiva della linea tra PPC ed estremità idraulica (nel caso in esame coincidente col tratto di linea considerato); per lunghez-

Tab. 2 - Carichi risultanti applicati al punto fisso PF1; il calcolo è stato eseguito con un programma specifico sviluppato per l'analisi dei sistemi di tubazioni adatto ad analizzare diverse configurazioni e diverse condizioni operative

Permanenti		
carico assiale (kN)	10,689	
momento torcente (Nm)	0	
carico ortogonale orizzontale (N)	0	
carico ortogonale verticale (N)	711	
Variabili per azione sismica		
	parallela	ortogonale
sovrappressione inerziale (bar)	1,35	4,43
sovrappressione per decelerazione (bar)	3,19	3,27
sovrappressione per cavitazione (bar)	0	5,99
carico assiale massimo (kN)	9,337	16,291
momento torcente (Nm)	0	0
carico ortogonale orizzontale (N)	0	355
carico ortogonale verticale (N)	79	79

ze maggiori la sovrappressione per decelerazione potrebbe raggiungere 4,773 bar.

La sovrappressione per cavitazione sarebbe comunque maggiore in conseguenza della maggiore velocità raggiunta dal fluido in fase di richiusura.

5. Interazioni con il rack

Come accennato al paragrafo 3, non si possono trascurare gli effetti delle deformazioni della struttura rack sotto sisma. Ciò vuol dire mettere in conto gli effetti flessionali pseudostatici indotti nella tubazione dagli spostamenti relativi dei portali del rack. Questi effetti devono combinarsi nella tubazione con quelli indotti dalle azioni permanenti e variabili del paragrafo 3 e agiscono, come reazione vincolare, sulla struttura del rack.

Peraltro, nelle verifiche di resistenza della tubazione e dei suoi componenti, non si deve sottovalutare il fatto che pressioni e sovrappressioni inducono nella tubazione sollecitazioni assiali che sono di trazione, favorevoli, nei tratti compresi tra i punti fissi e le curve terminali, ma sono di compressione, sfavorevoli, nei tratti compresi tra punti fissi e compensatori di dilatazione e possono innescare condizioni di instabilità flessionale assiale.

4. Conclusioni

La disamina dei problemi connessi agli effetti delle sovrappressioni sismiche all'interno delle tubazioni evidenzia l'importanza di una adeguata conoscenza del comportamento sottosisma del rack tubazioni e dei fluidi in esse convogliati e della stretta collaborazione e coordinamento tra processista, meccanico tubista e strutturista.

Bibliografia

[1] Corrado V.: *Effetti dinamici su condotte interrate in zona sismica* - Tesi in Dottorato di Ricerca, Università di Napoli Federico II, 2008

[2] Paolacci F.: *Analisi sismica dei sistemi di tubazioni di raffinerie petrolifere* - Structural Modeling, n. 6 - 12/2011

[3] Newmark, N. M. 1967, Problems In Wave Propagation In Soil And Rock, Proc. Intl. Symp. on Wave Propagation and Dynamic Properties of Earth Materials, Univ. of New Mexico, Albuquerque, New Mexico, 7-26.



Giorgio Brunelli

Giorgio Brunelli è laureato in Ingegneria Chimica presso l'Università di Roma "La Sapienza" nel 1964. Dopo diverse esperienze professionali in importanti società italiane e straniere dal 1972 è Direttore Tecnico e Consigliere di Amministrazione della SICI (Società Italiana Costruzioni Industriali a.r.l.),

con specifica responsabilità per la progettazione di processo, per la termotecnica e per la direzione e supervisione dei cantieri.

Accanto alle attività professionali, Giorgio Brunelli ha svolto anche attività didattica presso l'Università "La Sapienza" di Roma e altre istituzioni.

Seismic design of industrial pipeline systems

In Europe the seismic design of above-ground pipeline systems is covered by the provisions of the EuroCode 8 - Part 4 (EN 1998-4). According to EC 8-4 the seismic actions are related to the shaking of the pipelines due to the seismic movements applied to their supports and to the differential movements between the supports of the same pipelines. But no provision is given by EC 8-4 for the hydrodynamic response of the contained fluid, when liquid, whereas this

response can induce considerable over-pressures and under-pressures into the pipelines and connected equipment.

In this paper are analysed the ways of formation of the over-pressures and under-pressures into a pipeline due to an earthquake shaking and their effects on the supporting structures.

The results of a calculation for a case example are also reported.

