

ATTI DI CONVEGNO

SAFAP 2016

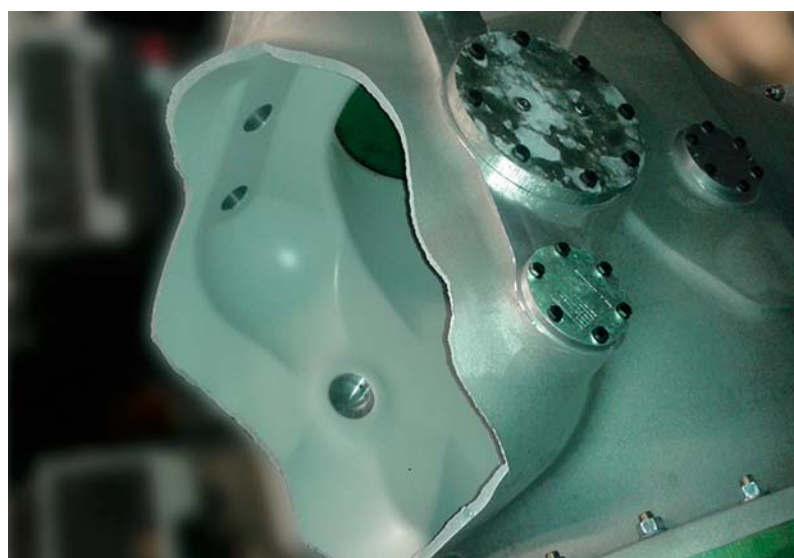
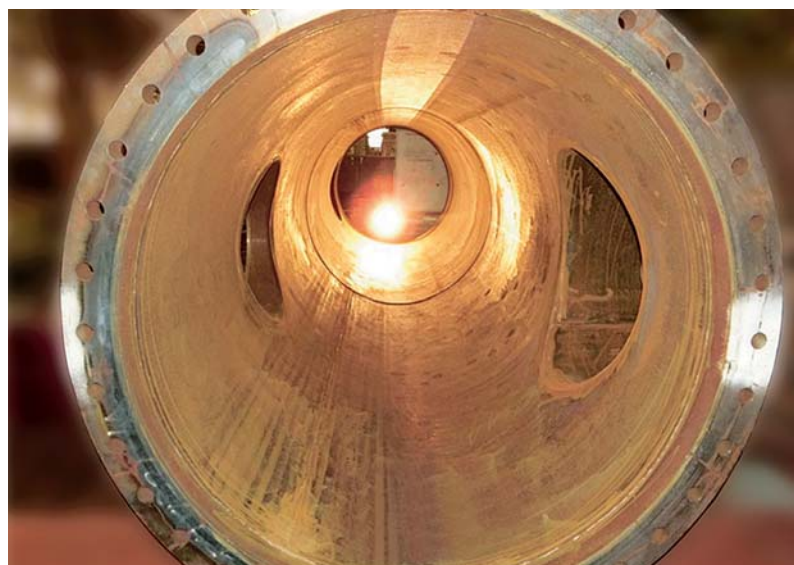
SICUREZZA ED AFFIDABILITÀ DELLE ATTREZZATURE A PRESSIONE

La gestione del rischio dalla costruzione all'esercizio

INAIL

Milano - 15 e 16 novembre

2016



Pubblicazione realizzata da

INAIL

Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti,
Prodotti ed Insedimenti Antropici (DIT)

A cura di

Francesca Ceruti
Daniela Gaetana Cogliani

per informazioni

INAIL - Dipartimento Innovazioni Tecnologiche
e Sicurezza degli Impianti, Prodotti ed Insedimenti Antropici
via Roberto Ferruzzi, 38/40 - 00143 Roma
dit@inail.it
www.inail.it

© 2016 INAIL
ISBN 978-88-7484-520-0

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nella pubblicazione, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell'Inail.

Distribuita gratuitamente. Vietata la vendita e la riproduzione con qualsiasi mezzo.

È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

INDICE

Sessione Plenaria Tecnica

G. Tongiani, A. Pelleriti, E. Franchi, N. Bravi, A. Dalmonte, O. Borgia

Azienda – Istituzione è possibile collaborare? Un caso di successo nell'ambito delle attrezzature ed impianti in pressione..... pag. 1

M. Sacchi, F. Gola

UB Torre Nord: Ispezione caldaia gruppo 4 mediante drone e casco strumentato..... pag. 9

G. A. Zuccarello, C. Mazzini

Il D.Lgs. 105/2015 e i rischi di incidenti tecnologici innescati da disastri naturali (Na-Tech): l'approccio metodologico dell'Emilia Romagna per la sicurezza delle Attrezzature a Pressione..... pag. 17

P. A. Bragatto, C. Delle Site, A. Faragnoli, M.F. Milazzo

Valutazione sintetica dell'adeguatezza del programma di gestione dell'invecchiamento delle attrezzature negli stabilimenti SEVESO..... pag. 31

Sessione Progettazione e Costruzione 1

L. Comel, R. Grassetti

Rinforzi strutturali in fibra di carbonio e resina PRS per apparecchiature, tubazioni e valvole, in seguito a warning da CND senza alcuna interruzione di operatività..... pag. 43

A. Iacino, W. Hageraats

Tenuta degli accoppiamenti flangiati ed integrità..... pag. 54

F. Lidonnici

Il metodo semplificato per il calcolo a fatica secondo il capitolo 17 della norma en 13445.3.. pag. 64

L. Scano

Stress Intensification Factors di giunti a tee senza rinforzo fabbricati con curve saldate su tubi dritti in acciaio al carbonio..... pag. 77

E. Becherini, S. Milani, A. Muratore, V. Nastasi

Esempio di progettazione delle attrezzature a pressione mediante la Direct Route proposta dalla EN 13445 parte 3..... pag. 88

L. Pellizzer

L'analisi dei rischi quale strumento progettazione delle attrezzature a pressione..... pag. 99

Sessione Integrità 1

E. Di Ponzio, V. Galasso, A. Mele, N. Altamura, A. Scialpi, F. Paiano

CASE HISTORY - Analisi di guasto per danneggiamento da H2S Umido K.O Drum V1604B..... pag. 105

E. Latona, M. Corsini, L. Nobile

Utilizzo della metodologia R.B.I. (Risk Based Inspection) sul settore power – Case Study... pag. 117

A. Faragnoli, M. Pessina, A. Petrucco, C. Rapone

Asset management - ISO 55000 e il sistema di gestione della manutenzione (cmms)..... pag. 127

L. Ricciardi, A. Tonti

Curve di temperatura per negligibile creep per gli acciai EN-10028-2/7..... pag. 134

D. Sallustio, E. Mazzi

Piattaforma software per il monitoraggio continuo di componenti sottoposti a fatica oligociclica di un generatore di vapore a recupero all'interno di una centrale turbogas..... pag. 142

O. Grisolia

Calcolo del tempo di rottura a scorrimento viscoso mediante "Master Curve": valutazioni sull'affidabilità della procedura automatica e impatto della normativa..... pag. 152

Sessione Analisi dei Rischi 1

D. Barbagallo, A. Cazzoli, D. Bellomi, M. Palacchino

Valutazione del comportamento dei circuiti di protezione da sovrappressione dei serbatoi criogenici in caso di sovra riempimento..... pag. 162

F. Di Rocco, F. Rossetti

Problematiche in occasione degli accertamenti nel settore GVR..... pag. 169

C. Piccolo, J. Pardi, G. Russo, D. Salzano, A. De Cristofaro

L'analisi dei rischi di incendio nella installazione dei serbatoi di GPL. Definizione di un programma di manutenzione in relazione alla stato di conservazione del recipiente..... pag. 178

P. Addonizio, G.M. Calabrese, G. Liloia

Gestione della sicurezza in un impianto a ciclo continuo costituito da cinque autoclavi funzionanti in parallelo utilizzate per la sterilizzazione di prodotti alimentari in contenitori di poliaccoppiato..... pag. 187

A. Barberio, P. Scardamaglia

HazLoc 2.0: l'evoluzione normativa nella classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione, criticità della nuova norma IEC/EN 60079-10-1..... pag. 194

R. Iovene, T. Guidi, G. Paiardini, R. Vasile

Realizzazione di un impianto criogenico come soluzione al problema di abbattimento sfiati in un'industria chimica..... pag. 202

Sessione Impianti Tecnologici

F. Di Tosto, D. Rinaldi, E. Ludovisi, E. Ferrari, C. Barbarossa

La nuova specifica tecnica sui cogeneratori – Revisione editoriale della Raccolta R comprensiva di note e chiarimenti emessi dal 2011..... pag. 209

M. Braga, G. Codemo, V. Galasso

La sicurezza idronica alla luce dell'evoluzione tecnologica degli impianti di riscaldamento ad acqua calda..... pag. 218

M. Oss, E. Ferretti, D. Sanzi, A. Tani, F. Rocchi, P. Morucchio, R. Acerboni, A. De Palma, F. Boella
Non conformità rilevate nel corso degli accertamenti su impianti termici (D.M. 01/12/1975 – RACCOLTA R Ed. 2009)..... pag. 225

T. Scalici, G. Gurnari, N. Palumbo
La verifica dell'impianto di riscaldamento ad acqua calda ai fini della sicurezza delle persone..... pag. 230

C. Piccolo, F. Viola, M.M. La Veglia, S. Mungiguerra
Rischio di incendio per le bombole di ossigeno in ambito ospedaliero. Un caso studio..... pag. 242

Sessione Analisi dei Rischi 2

P. Castellano, G. Villani, G. Gorrino
Piano di Intervento Distacco Artificiale di Valanghe (P.I.D.A.V.): premesse per un approccio alla corretta standardizzazione di verifiche e manutenzioni delle attrezzature per il distacco di masse nevose mediante esplosione di miscele gassose a pressione..... pag. 250

F.P. Nigri, V. De Lisio
Affidabilità dei sistemi di sicurezza in impianti di processo..... pag. 257

M. Faiella, N. Pedicini, T. Pagliuso, G. Perone Pacifico, M. Rossi, S. Malvezzi, A. Cocchiaro
Verifica in opera di valvole di sicurezza dotate di attuatore pneumatico..... pag. 269

C. Piccolo, L. Adabbo, V. Vosa, C. Salemme, A. Modugno
Tirreno Power S.p.A. - Centrale Termoelettrica di Napoli Levante. Procedure operative per l'accesso negli spazi confinati: l'analisi dei fattori di rischio e le modalità di intervento..... pag. 279

N. Mordà, C. De Simone
Progettazione sismica delle componenti industriali con approccio Risk-Based..... pag. 292

G. de Gennaro, M. De Musso, A. De Sandre, D. Zamboni, G. Condolo, G. Lapenta
La visita interna delle attrezzature a pressione: valutazione dei rischi per la sicurezza degli operatori. Caso studio..... pag. 301

Sessione Conformità

E. Artenio, P. A. Bragatto, A. Pirone, M.R. Vallerotonda
Gestione in sicurezza delle operazioni di travaso di fluidi infiammabili..... pag. 310

G. Ceglia, A. Romanelli, A. Casillo, D. Mancuso, A. Sicignano, A. Vescovi, S. Valletta, M. Parsani, P. Cacciatore, G. Battista, O. Di Donato, G. Selvestrini
Visita interna di generatori di vapor d'acqua e acqua surriscaldata. Panorama normativo e problematiche rilevate nella modalità di effettuazione della verifica periodica di visita interna di cui all'All. VII del D.Lgs 9 aprile 2008, n. 81 e ss.mm.ii..... pag. 321

M. Del Gaudio, R. Luciano, G. Botte, S. Aiello
Attività di verifica ed omologazione in cantieri per la realizzazione di tunnel sotterranei. Il caso pratico di camera iperbarica nella Metropolitana di Napoli e nella Galleria Pavoncelli di Caposele (AV)..... pag. 331

S. Anastasi, D.G. Cogliani, L. Monica

L'accertamento tecnico per la vigilanza del mercato delle attrezzature a pressione: possibili scenari..... pag. 339

C. Di Girolamo, M.R. Vallerotonda, D. Pegorari

Il quadro normativo e tecnico di riferimento inerente lo stoccaggio e il rifornimento di GNL negli impianti di distribuzione stradale..... pag. 349

Sessione Progettazione e Costruzione 2

G. Battista, O. Di Donato, G. Selvestrini, A. Casillo, G. Ceglia, A. Romanelli, D. Mancuso, A. Sicignano, M. Parsani, A. Vescovi

I recipienti criogenici trasportabili di ossigeno liquefatto medicale. Novità normative, procedure di controlli e gestione..... pag. 360

A. Casillo, G. Ceglia, A. Romanelli, D. Mancuso, A. Sicignano, M. Parsani, A. Vescovi, P. Cacciatore, S. Valletta, G. Battista, O. Di Donato, G. Selvestrini

Rivalutazione delle incastellature non marcate "π"..... pag. 369

M. Giglio, A. Manes, M. De Mattia, A. Andolina

Metodi di progettazione avanzata per cisterne in pressione soggette ad impatti perforanti... pag. 379

M. Giacobbo

Insiemi soggetti a più direttive: best practice per una corretta marcatura CE..... pag. 390

E. Becherini, M. Lombardi, G. Rainone, D. Gando

La certificazione di prodotto di due grandi Termovalorizzatori in paesi esteri facenti parte dello spazio economico europeo..... pag. 402

A. Fortuni, F. Giacobbe

Implementazione di un sistema qualità integrato nell'ambito dell'operatività degli organismi notificati..... pag. 413

Sessione Integrità 2

S. Porrizzo, S. Morrea, P. Cioffi, G. Gabetta, L. Sasanelli, R. Concetto, L. Pardo

Pipeline integrity management. Direct Assessment per la riqualifica di una condotta onshore multifase..... pag. 423

A. Alvino, A. Antonini, D. Lega, C. Mennuti

Criteri per la valutazione del danno in fornaci di reforming..... pag. 434

A. M. Rendola, A. Esposito, F. Ricci

Analisi sperimentale dell'invecchiamento di un serbatoio ad aria compressa..... pag. 446

R. Cozza

API RP 581: teorema di Bayes e indici di affidabilità..... pag. 455

C. Sampietri, G. Sironi

Valutazione di integrità strutturale di componenti di impianti petrolchimici in presenza di difetti utilizzando metodologie FFS..... pag. 469

A. Tonti, C. De Petris, F. Panin, V. Toigo, S. Dal Bello, R. Piovan
Procedure di sicurezza per il Neutral Beam Test Facility..... pag. 479

Sessione Diagnostica 1

A. Alvino, A. Antonini, D. Lega, L. Ricciardi, A. Tonti
Studio dei meccanismi di evoluzione della microstruttura dell'acciaio grado 91..... pag. 492

C. Delle Site, E. Artenio, F. Giacobbe, A. Rinaldini
Valutazione degli effetti della resistività del terreno sul rateo di corrosione di tubazioni interrate..... pag. 503

A. Rotondaro, T. Lomonaco, A. F. Cosentini
Dimensionamento del sistema di protezione catodica per un recipiente a pressione per stoccaggio Gpl di capacità pari a 1000 lt..... pag. 513

G. Gabetta, N. Buongiorno, M. Battagliarin, M. Gennaro, P. Zonta
Esame della rottura di alcune viti di fissaggio zincate, per una migliore comprensione del meccanismo di infragilimento da idrogeno..... pag. 523

P. Agnello, S. Ansaldi, P. Bragatto
Applicabilità delle tecnologie "smart" per la gestione dell'integrità delle attrezzature negli impianti di processo..... pag. 532

F. Taurasi, E. Ferrari
Gestione delle attrezzature a pressione in acciaio smaltato nell'industria chimica..... pag. 542

Sessione Natech

N. Mordà, L. Capilongo
Analisi e valutazione degli effetti sismici in serbatoi sferici..... pag. 552

L. Merli, A. Sartori, G. Rossi
Procedura numerico – sperimentale per la verifica sismica di serbatoi criogenici..... pag. 562

V. Nastasi, G. Sferruzza, G. Argento, A. Muratore
Metodologia per l'analisi preliminare idonea ad individuare le unità critiche a seguito di eventi sismici che possono innescare un incidente rilevante alla luce del d.lgs. 105/2015.... pag. 573

R. Mercurio, A. Mercurio, A. Colaprico, R. Lionetti, G. Paglione, G. Vitale, A. Turi
Le aziende a rischio rilevante e gli eventi naturali "NATECH"..... pag. 586

D. Barbagallo, L. Merli
Metodologia per la valutazione dell'impatto di eventi sismici sui serbatoi criogenici..... pag. 597

M. D. Piccioni, A. Fraddosio, A. M. Altieri, V. Annoscia, N. Conversa, N. Pecere
Lo studio di vulnerabilità sismica e metodi per il miglioramento e/o adeguamento sismico dei serbatoi sferici di GPL tipo Horton in Stabilimenti soggetti a Rischio di Incidente Rilevante..... pag. 608

Sessione Tecnologie di Sicurezza 1

S. Turrin, R. Grassetti

Protezione e ripristino anticorrosivo di scambiatori di calore e condensatori in centrali elettriche, raffinerie ed impianti petrolchimici..... pag. 616

N. Terlizzi, M. Locarno, S. Quetti, F. Perini

Riutilizzo di una apparecchiatura in pressione dopo periodo di inattività..... pag. 626

E. Opromolla, M. Rossi, S. Malvezzi, A. Cocchiario

Protezione con INCONEL 625 di surriscaldatori di vapore all'interno di un termovalorizzatore..... pag. 638

C. De Toro, I. Campitelli, R. Modestino, G. Pucillo, M. Di Gioia, M.M. La Veglia

Procedura di riparazione di una attrezzatura a pressione. Un caso pratico di un forno di sinterizzazione..... pag. 647

G. Sferruzza, V. Nastasi, G. Argento, A. Muratore

Casi studio di interventi su tubazioni esistenti, modifiche non importanti (riparazioni) e modifiche importanti (nuova certificazione PED)..... pag. 657

D. Cionchi

Confronto fra progettazione classica con i codici di calcolo o formule DBF e quella mediante analisi con il metodo degli Elementi Finiti DBA, degli anelli fisso e dentato del sistema di apertura di una Autoclave vulcanizzazione gomma..... pag. 665

Sessione Diagnostica 2

F. Bertoncini, P. Lenzuni, C. Mennuti, G. Augugliaro, C. De Petris, M. Raugi

Monitoraggio di tubazioni mediante Onde Guidate magnetostriette..... pag. 675

A. A. Scuderi, C. Blasi, P. Cioffi, G. Gabetta, A. Simonetti

Utilizzo di metodi NDT per la verifica dello stato di integrità di recipienti in pressione in impianti oil & gas..... pag. 684

C. Mennuti, G. Augugliaro, C. De Petris, G. Cardarilli, L. Di Nunzio, R. Fazzolari

Tecniche per la localizzazione di danni strutturali per mezzo di AE: algoritmi e possibili soluzioni HW per WSN..... pag. 692

G. Vaccaro, G. Argento, D. Di Fonzo

In Line Inspection - Ispezione interna di condutture attraverso il metodo del pigging"..... pag. 703

D. Di Fonzo, G. Vaccaro, G. Gorrino, E. Pichini Maini, G. Augugliaro

Criticità durante la fase di ispezione periodica su attrezzature a pressione in Materiale Composito CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)..... pag. 709

C. De Toro, G. Aversa, G. Crispino, C. Santomartino, G.M. Calabrese

Controllo delle saldature con il metodo ad ultrasuoni con tecnica phased array (PAUT) in alternativa alla tecnica radiografica: dimostrazione su nr. 2 blocchi campione saldati..... pag. 719

Sessione Seveso

N. Altamura, M.G. De Santis, M. Perrone

Dispositivi ausiliari: incidenza negli impianti a rischio di incidenti rilevanti..... pag. 725

L. C. Santillo, P. Addonizio, M. Di Nardo, M. Madonna

Rischio ad incidente rilevante mediante un approccio sistemico: l'incidente di Bhopal..... pag. 741

R. Iovene, G. Alocci, A. Ursini, M. Castagna, J. M. Disdier

Il rafforzamento del ruolo del Comitato Tecnico Regionale operato dal D.Lgs. 105/2015 ed il contributo di competenze delle Unità Operative Territoriali dell'INAIL: l'esperienza nei laboratori sotterranei del Gran Sasso, con particolare riferimento alla soluzione progettuale individuata per garantire lo stoccaggio di Xenon in ognuna delle tre fasi: solida, liquida o gassosa..... pag. 748

R. Lauri, M. Ciucci, C. Delle Site

Impianti "Seveso": approccio metodologico finalizzato alla determinazione delle aree di danno derivanti dal rilascio di sostanze tossiche..... pag. 756

A. Nebbioso, C. Simeoni, P. Iacono, G. Saputi

Caratterizzazione statistica del "Settore Seveso"..... pag. 767

A. Andolina, M. Russo, M. De Mattia, A. Delle Monache

Determinazione dei fattori gestionali con rischio predominante per la redazione di un Sistema di Gestione della Sicurezza efficace..... pag. 778

Sessione Tecnologie di Sicurezza 2

F. Giacobbe

La nuova Direttiva PED 2014/68/UE. Interazioni tra requisiti essenziali di sicurezza e sistema qualità..... pag. 789

R. Balistreri, G. Sferruzza

Industrie a rischio di incidente rilevante: Confronto sulle discipline in vigore in alcuni stati aderenti alla UE in merito alle verifiche delle attrezzature a pressione..... pag. 797

R. Acerboni, F. Boella, A. De Palma, P. Morucchio, J. Longo, F. Rocchi, M. Oss, A. Tani, D. Sanzi

Insieme o attrezzature separate per una scelta consapevole..... pag. 810

N. Altamura, G. De Gennaro, A. De Sandre, M.S. F. De Musso, A. Mele

EN 13445.3: capp. 17 e 18 utilizzo della norma tecnica per il calcolo a fatica. Esempio di confronto su una cella di tempra..... pag. 821

P. Addonizio, L. Bianchi, I. Ferrara, M. Madonna, I. Mazzarelli

Aziende a rischio di incidente rilevante: stato dell'arte dei sistemi di gestione della sicurezza..... pag. 838

V. Notari, A. Montanari

Anomalie delle attrezzature in pressione..... pag. 845

Metodologia per la valutazione dell'impatto di eventi sismici sui serbatoi criogenici

D. Barbagallo*, L. Merli**

*Assogastecnici/Federchimica

**Merli Engineering

Sommario

Nell'ambito delle attività di Assogastecnici, Associazione Nazionale Imprese Gas Tecnici, Speciali e Medicinali, facente parte di Federchimica, Federazione Nazionale delle Imprese Chimiche, un Gruppo di Lavoro composto da tecnici esperti si è posto l'obiettivo di verificare il quadro normativo antisismico e di identificare la metodologia di applicazione dello stesso al mondo dei serbatoi criogenici la cui peculiarità è legata ad un'elevata mobilità sul territorio e a collocazioni.

Il presente Articolo intende dare seguito a quanto già esposto nel SAFAP 2014, in termini di approccio normativo, presentando il prosieguo del lavoro del gruppo in cui si sono affrontate le problematiche tecniche e metodologiche relative alla valutazione di analisi sismica dei serbatoi.

L'aspetto principale di analisi è stato il comportamento e la relativa modellazione della perlite presente nell'intercapedine tra involucro esterno ed interno, valutandone il contributo in termini di maggiore stabilità. L'importanza del contributo è evidente dal confronto del comportamento di serbatoi soggetti ad eventi sismici avvenuti negli anni passati in cui non si sono riscontrati danni rilevanti reale (danni dovuti ad eventi sismici) in confronto con le analisi svolte tramite software di calcolo a elementi finiti in assenza di perlite dove si evince la difficoltà dei serbatoi di resistere alle sollecitazioni dovute al sisma.

1. Introduzione

Tra le principali tipologie di fornitura tipiche dell'attività delle imprese produttrici di gas tecnici, speciali e medicinali (d'ora in poi "imprese produttrici") vi è quella praticata mettendo a disposizione dei propri clienti, utilizzatori del prodotto nella sua fase gassosa o liquida (d'ora in poi "utilizzatori del gas"), le attrezzature necessarie allo stoccaggio e all'erogazione del prodotto quali serbatoi criogenici e vaporizzatori (d'ora in poi "impianti criogenici o "impianti") di cui curano il periodico riempimento e la manutenzione, ordinaria e straordinaria.

Salvo particolari casi, la tipologia contrattuale cui ci si avvale per la fornitura di gas prevede il ricorso alla locazione dell'impianto di cui agli artt. 1571 e seguenti del Codice Civile, i.e. alla sezione dedicata alla locazione. In quanto locatore di un bene, l'impresa produttrice è tenuta a mantenere tale bene idoneo all' "uso convenuto" per tutta la durata del contratto e, nell' "idoneità all'uso", è compresa la conformità del bene locato alle normative emanate nel tempo dal legislatore.

Poiché il serbatoio è collocato nel sito produttivo dell'utilizzatore del gas, in capo alle imprese produttrici sorgono obblighi di cooperazione e coordinamento con lo stesso, che, in veste di Datore di lavoro (ai fini del Decreto Legislativo 81/2008 "Attuazione dell'art. 1 della L. 3.08.2007 n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro"), è tenuto ad una valutazione dei rischi.

In particolare, con riguardo alla normativa antisismica, al sito produttivo dell'utilizzatore del gas si applicano le disposizioni richiamate dal Decreto Ministeriale del 14.01.2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (qui di seguito "NTC 2008").

Premesso che all'interno delle NTC 2008 è corretto ricondurre i serbatoi agli "impianti o elementi non strutturali", con riferimento agli edifici già esistenti all'entrata in vigore delle NTC 2008, il proprietario è tenuto ad una serie di adempimenti e verifiche su tutto ciò che insiste sul proprio sito, quand'anche di proprietà di terzi, come è appunto il caso dei serbatoi in questione.

2. Tipologie di serbatoi e installazioni

Le imprese produttrici dispongono di un parco serbatoi in Italia che in base all'anno di fabbricazione si possono distinguere come segue.

Serbatoi non marcati CE

Serbatoi criogenici fabbricati prima del 30 maggio 2002, data in cui è entrato in vigore il D. Lgs. n. 93/2000, Decreto di recepimento della Direttiva PED, dotati di libretto matricolare in cui si attesta la costruzione in conformità alle norme ISPEL (ex Decreto Ministeriale 1927). I serbatoi sono stati progettati secondo alcune Circolari specifiche e secondo la raccolta VSR ISPEL. Tali norme di progettazione non prevedevano alcuna procedure di verifica della conformità relativamente al rischio sismico.

Per tale categoria di serbatoi i dati necessari alla stesura della Relazione Tecnica potrebbero non essere più reperibili presso il fabbricante. Per tale tipologia di serbatoi era stata presentata al SAFAP 2014 una proposta metodologica basata su criteri di modellazione e analisi antisismica di serbatoi prototipo in grado di fornire le necessarie valutazioni di idoneità strutturale.

Serbatoi marcati CE

Serbatoi criogenici fabbricati in conformità alla Direttiva PED (97/23/CE), recepita in Italia con D. Lgs. n. 93/2000. Per tali serbatoi, su cui è apposta la marcatura CE, il fabbricante ha dovuto valutare il rischio sismico al fine di poterne garantire la sicura installazione. La marcatura CE e la relativa dichiarazione di conformità consentono di affermare la legittimità della cessione a qualsiasi titolo dell'apparecchiatura su tutto il territorio dell'Unione europea. La valutazione sismica è fatta secondo gli Eurocodici al fine di garantirne la libera circolazione all'interno dell'Unione, come riconosciuto nelle NTC2008.

3. Proposte metodologica per la valutazione della vulnerabilità sismica dei serbatoi di fabbricazione ante-PED

L'approccio normativo vigente comporta la necessità di valutare la vulnerabilità sismica dei serbatoi criogenici presenti sul territorio nazionale, installati e da installare, in impianti esistenti o in impianti di futura realizzazione.

In altri termini, si tratta di stabilire se un serbatoio criogenico è installabile ovunque sul territorio nazionale o solo in alcune zone.

Come illustrato nel capitolo precedente, la procedura per la verifica di un serbatoio non marcato CE per PED (immesso sul mercato prima dell'anno 2002) si differenzia da quella da adottare per un serbatoio marcato CE per il quale è sufficiente la citazione della norma o del codice a cui il fabbricante ha fatto riferimento nella valutazione di rischi prevista dalla PED.

Per quanto concerne i serbatoi ante-PED, invece, è necessario individuare una modalità di valutazione delle caratteristiche strutturali nel caso non si disponesse della totalità delle

informazioni tecnico-costruttive. A tal scopo è stato necessario stabilire alcune ipotesi di calcolo per quanto riguarda alcuni valori determinanti per l'analisi di vulnerabilità sismica, che sono stati presentati nell'articolo del SAFAP 2014 e che sono riepilogati in tabella 1.

Parametro	Disposizione vigente	Proposta
Materiali da costruzione delle membrature e gambe del serbatoio esterno	da certificato	da certificato o, se non disponibile, S235JR
Materiali da costruzione delle membrature e supporti del serbatoio interno	da certificato	da certificato o, se non disponibile, ASTM A312 Tp 304 (XCrNi18-10)
Livello di conoscenza LC	1 - 2 - 3	3
Fattore di confidenza FC	1,35 - 1,2 - 1	1
Materiale di isolamento intercapedine recipienti interno/esterno	-	Perlite / 130 kg/m ³
Contributo strutturale della perlite di riempimento dell'intercapedine	-	Significativo (da determinarsi sperimentalmente)
Riempimento serbatoio interno (% capacità utile)	80% (100%)	80%
Fluido criogenico di riempimento	-	Argon
Classe e coefficiente d'uso per installazioni in insediamenti industriali ordinari	/	II / 1
Classe e coefficiente d'uso per installazioni in insediamenti industriali R.I.R.	IV / 2	IV / 2
Classe e coefficiente d'uso per installazioni in strutture ospedaliere ante Direttiva 93/42/CE	IV / 2	IV / 2
Classe e coefficiente d'uso per installazioni in strutture ospedaliere post Direttiva 93/42/CE	IV / 2	II / 1
Vita di riferimento V_R	minimo 35 anni	sempre 35 anni
Stato Limite di Riferimento	SLO - SLD - SLV - SLC	SLV
Probabilità di superamento nel periodo di riferimento e PVR %	81% - 63% - 10% - 5%	10%
Tempo di ritorno del sisma	$T_R = \frac{-V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$	332 anni
Categoria sottosuolo	da indagine geologica	D
Fattore topografico	da verifiche in sito	T1

Tabella 1. Proposte di parametri critici

Già nel lavoro precedente si era citato come il materiale d'isolamento fosse un fattore decisamente rilevante ai fini della stabilità strutturale. Tale materiale è la perlite utilizzata come isolante termico nell'intercapedine dei serbatoi criogenici al fine di ridurre il NER (Net Evaporative Ratio). Il suo contributo nel trasferire le azioni sismiche dal serbatoio interno a quello esterno era stato identificato come il fattore che giustificasse la differenza tra i risultati numerici e l'esperienza sul campo.

Infatti i calcoli numerici in assenza di perlite, quindi ad intercapedine vuota, davano risultati di non sostenibilità di eventi sismici anche di grado non elevato, riportando problematiche di punzonatura del fasciame esterno ad opera dei supporti a cui era affidato lo scarico completo delle forze.

Nell'esperienza di oltre 60 anni di utilizzo di serbatoi criogenici in Italia (con un parco di circa 10.000 serbatoi installati) non si sono mai verificati danneggiamenti seri di serbatoi criogenici durante gli innumerevoli eventi sismici di intensità significativa che la storia del nostro territorio ricorda, inclusi gli ultimi eventi avvenuti in Emilia nel 2012 e in Centro Italia nell'estate di quest'anno.

Si ricordano solo alcuni cedimenti minori che hanno determinato la perdita del vuoto nell'intercapedine per perdite di tubi di processo interni, senza mai pregiudicarne la stabilità e sicurezza.

Come detto tale difformità tra la teoria e l'esperienza pratica hanno suggerito che la perlite giocasse un ruolo determinante nella risposta sismica del serbatoio.

4. Procedura utilizzata per determinare la risposta della perlite alle sollecitazioni

Un'analisi particolarmente approfondita sulla caratterizzazione della perlite e l'interazione tra la perlite e la struttura dei serbatoi è stata effettuata dalla Merli Engineering, studio di ingegneria che si è avvalso della collaborazione con Eucentre, European Centre for Earthquake Engineering nella definizione dei carichi sismici sui serbatoi e con il Politecnico di Milano, Dipartimento Ingegneria Geotecnica, nella modellazione della perlite e del serbatoio. L'analisi di Merli Engineering ha previsto inoltre delle prove di laboratorio sulla perlite effettuate presso il Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano e l'approntamento di un modello di calcolo numerico per la simulazione dell'interazione della perlite con la struttura con l'ausilio del Centro di Supporto Ansys.

Il presente capitolo illustra nel dettaglio il lavoro realizzato da Merli Engineering che ha permesso di caratterizzare sperimentalmente e numericamente la perlite e includere così il suo effetto dal punto di vista strutturale ai fini dell'analisi sismica su serbatoi criogenici.

4.1 Definizione della procedura di verifica in ambito normativo

Merli Engineering, in collaborazione con Eucentre (European Centre for Earthquake Engineering) ha definito una procedura di calcolo delle azioni sismiche, basata sulla formulazione matematica descritta negli Eurocodici di riferimento (EN 1998-4:2006, EN 1998-1:2013, EN1993-4-2:2007 ed 1993-1-6:2007), specificatamente elaborata per serbatoi metallici criogenici. Tale procedura, partendo dagli spettri sismici definiti dalle NTC, determina le forze statiche equivalenti da applicare al modello numerico non lineare (mediante calcolo agli elementi finiti MNA e LBA) tenendo in considerazione la deformabilità del serbatoio interno e la presenza del liquido contenuto. Aspetto innovativo di tale procedura consiste nell'inserimento dell'elemento perlite, le cui caratteristiche sono state valutate sperimentalmente.

4.2 Caratterizzazione sperimentale della perlite

Una prima caratterizzazione della perlite è stata effettuata presso il Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano. In questa sede sono state indagate le principali caratteristiche fisiche e meccaniche della perlite espansa in forma granulare comunemente utilizzata in un normale processo di perlitaggio. A causa della similitudine della perlite con materiali geotecnici quali sabbie e suoli si sono indagate alcune delle proprietà e caratteristiche utili alla definizione di un modello matematico mediante prove di comprovata validità in ambito geotecnico. In particolare si è valutata la composizione granulometrica della perlite mediante setacciatura, sono state effettuate prove

edometriche e prove triassiali di perlite vibrata artificialmente e con densità equivalente a quella ottenuta dal processo di perlitaggio considerato. Il risultato di questa indagine ha mostrato un comportamento della perlite non lineare con le condizioni di carico, causato principalmente dalla natura stessa dei grani di perlite.

4.3 Caratterizzazione numerica della perlite

La seconda fase è stata caratterizzata dall'estrapolazione, dalle prove di laboratorio effettuate, di tutti quei parametri significativi per la definizione di un modello di materiale rappresentativo del comportamento della perlite. In collaborazione con la sezione di Ingegneria Geotecnica del Politecnico di Milano è stato individuato il modello matematico più vicino alla rappresentazione di questa tipologia di materiale (modello Druker-Prager) e, congiuntamente con il centro di supporto ANSYS Italia è stato implementato all'interno del codice di calcolo ad elementi finiti. Questa fase ha permesso di disporre di uno strumento di calcolo efficace per l'integrazione dell'elemento perlite e del suo comportamento con quello della struttura metallica del serbatoio criogenico.

4.4 Determinazione dell'interazione perlite-struttura

I valori dei parametri ottenuti dai campioni di laboratorio, rappresentativi di condizioni dimensionali lontane dall'applicazione reale, sono stati poi verificati e tarati con ulteriori prove sperimentali presso il Centro Nazionale Collaudi di Piacenza su un serbatoio. Tale prototipo ha permesso di caricare in modo quasi statico e ciclico la perlite presente all'interno dell'intercapedine, potendo dunque apprezzare l'influenza dell'effetto dimensionale nonché quella del vuoto creato durante il processo di produzione.

4.5 Valutazione delle caratteristiche della perlite su serbatoi già installati

L'importanza della determinazione dei parametri corretti della perlite ed in particolare l'elevata influenza della storia di carico subita dalla perlite stessa nel corso della sua vita sulle caratteristiche fisiche e meccaniche ha portato il gruppo di lavoro formato da Assogastecnici e Merli Engineering alla definizione di una campagna di prove su serbatoi dismessi al fine di valutare la variazione delle proprietà della perlite su un campione significativo di serbatoi ante-PED, e valutarne lo scostamento dovuto a fenomeni comuni nella vita di un serbatoio (quali movimentazione, cicli termici, condizioni ambientali, perdita del vuoto..). Questa campagna, che prevede prove sperimentali per tipologie di serbatoi dimensionalmente differenti e di differente età e costruzione è ancora in fase di ultimazione.

5. Risultati delle simulazioni su un serbatoio con e senza perlite

Alla luce del lavoro svolto, Assogastecnici ha avviato una collaborazione con Merli Engineering per utilizzare il modello di calcolo numerico perfezionato per la simulazione del comportamento della perlite per un'analisi di modellazione 3D di un serbatoio criogenico costituito da serbatoio interno ed esterno sul quale effettuare calcoli ad elementi finiti considerando il contributo della perlite presente nell'intercapedine isolata.

Al fine di mettere in evidenza l'effetto della perlite nella risposta sismica dei serbatoi criogenici, sono state effettuate su uno stesso serbatoio taglia 20000 Litri, le seguenti valutazioni numeriche:

- Serbatoio in assenza di perlite
- Serbatoio con perlite secondo la caratterizzazione sperimentale.

Tutte le valutazioni sono state effettuate utilizzando il set di parametri riportato in tabella 2.

<p>Vincolo a terra: cerniera Carichi: P.Atm = 98100 N/m² Perlite = 130 Kg/m³ (considerare anche spinta orizzontale con angolo di attrito 35°) Argon = 1393 Kg/m³ (considerare anche spinta idrostatica) (80% del 95% della capacità geometrica) Pressione liquido interno = 6 Kg/cm² Sisma: Spettro solo orizzontale secondo NTC2008 con i seguenti parametri: Sito d'installazione = Lat. 39.2470 Long. 16.3920 (ED50(°)) - Aprigliano (CZ) Vn = 10 anni Vr = 35 anni C.U. = Valida da I a IV Cat. sottosuolo = D Cat. topografica = T1 Fatt. struttura q = 1</p> <p>Accelerazione imposta ai modelli = massima dello spettro sopra definito</p>

Tabella 2. Specifiche di calcolo

5.1 Le simulazioni di un serbatoio in assenza di perlite

Come evidenziato dai risultati ottenuti, si evince che modellando il serbatoio criogenico nella sua geometria, considerando quindi il doppio serbatoio e la presenza dell'intercapedine isolata in assenza di perlite, le modellazioni effettuate mostrano la difficoltà del serbatoio a far fronte alle sollecitazioni sismiche dettate dalla normativa italiana NTC2008 ottenendo valori decisamente elevati di sforzi nelle zone di maggiore sollecitazione (collegamento fasciame-fondo serbatoio esterno con gambe di supporto e zone di attacco puntoni colleganti serbatoio interno ed esterno).

La condizione di carico applicata ha portato ad un collasso plastico della struttura (plastic strain maggiore del 10%) in corrispondenza del 78.6 % del carico applicato.

Si riportano nelle seguenti figure le deformazioni della struttura e gli sforzi equivalenti di Von Mises in corrispondenza della condizione di collasso plastico.

Figura 1. Serbatoio senza perlite - Deformazioni della struttura

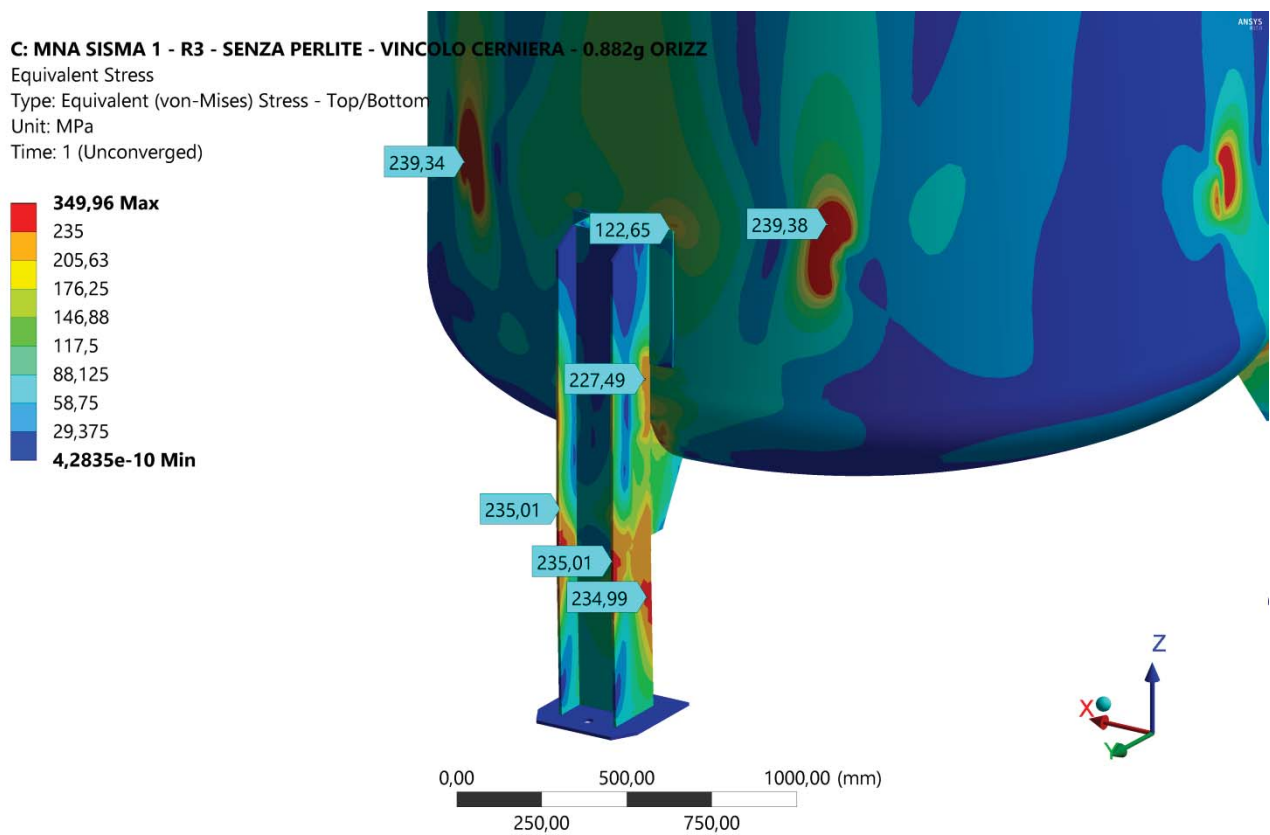


Figura 2. Serbatoio senza perlite - Sforzi di Von Mises, particolare gamba compressa e serbatoio esterno

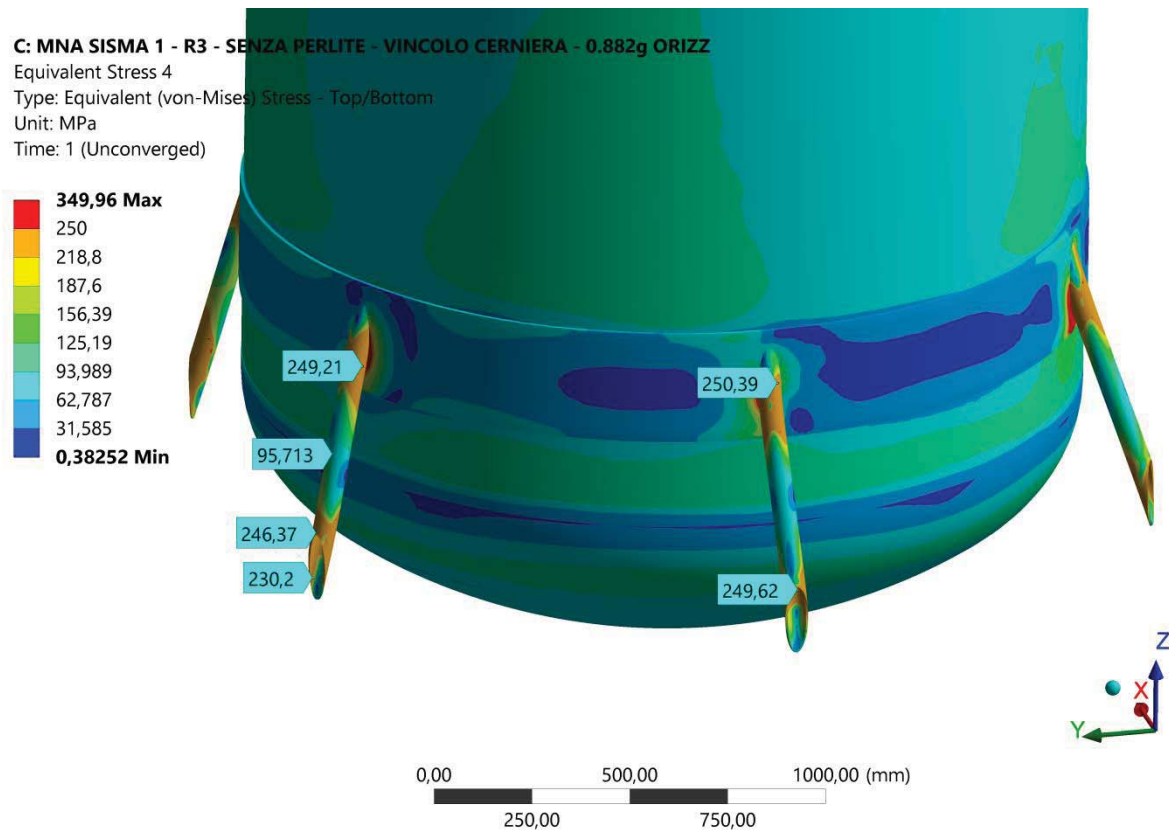


Figura 3. Serbatoio senza perlite - Sforzi di Von Mises, particolare supporti di collegamento tra serbatoio interno e involucro esterno

5.2 Le simulazioni di un serbatoio con perlite secondo la caratterizzazione sperimentale

Grazie all'utilizzo del materiale perlite, si notano gli effetti di trasferimento uniforme del carico dal serbatoio interno al serbatoio esterno e di conseguenza una diminuzione degli sforzi andando a sgravare notevolmente le zone di sollecitazione massima evidenziate precedentemente. Questo è possibile essendo la perlite sotto vuoto un materiale coeso alla compressione e uniforme.

La condizione di carico applicata ha portato ad un collasso plastico della struttura (plastic strain maggiore del 10%) in corrispondenza del 93.2% del carico applicato. Si riportano nelle seguenti figure le deformazioni della struttura e gli sforzi equivalenti di Von Mises in corrispondenza della condizione di collasso plastico.

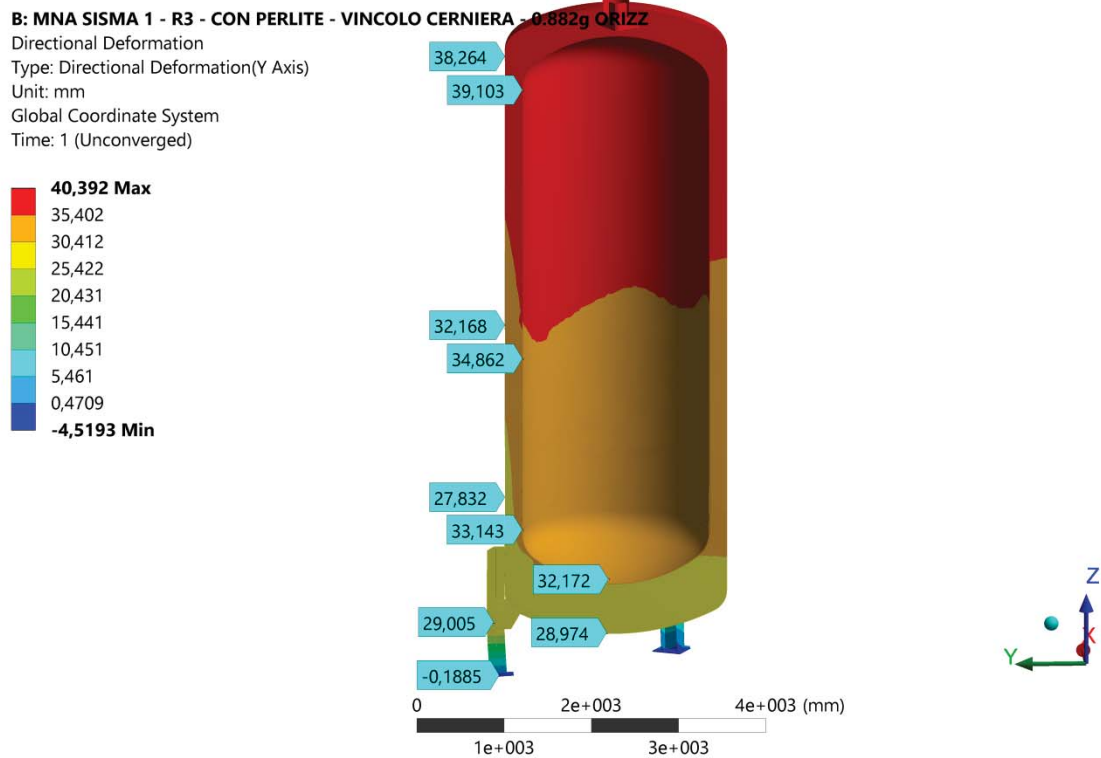


Figura 4. Serbatoio con perlite - Deformazioni della struttura

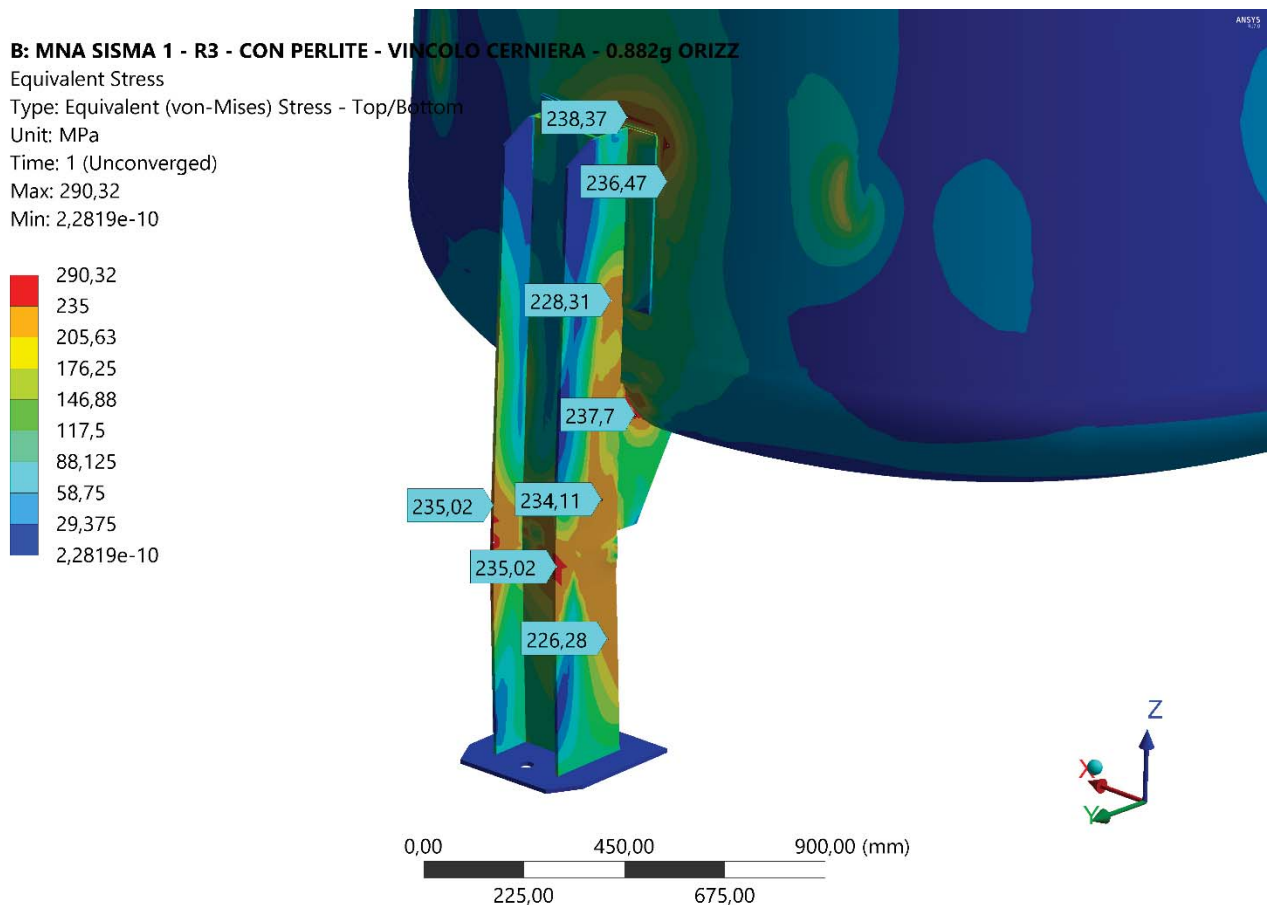


Figura 5. Serbatoio con perlite - Sforzi di Von Mises, particolare gamba compressa e serbatoio esterno

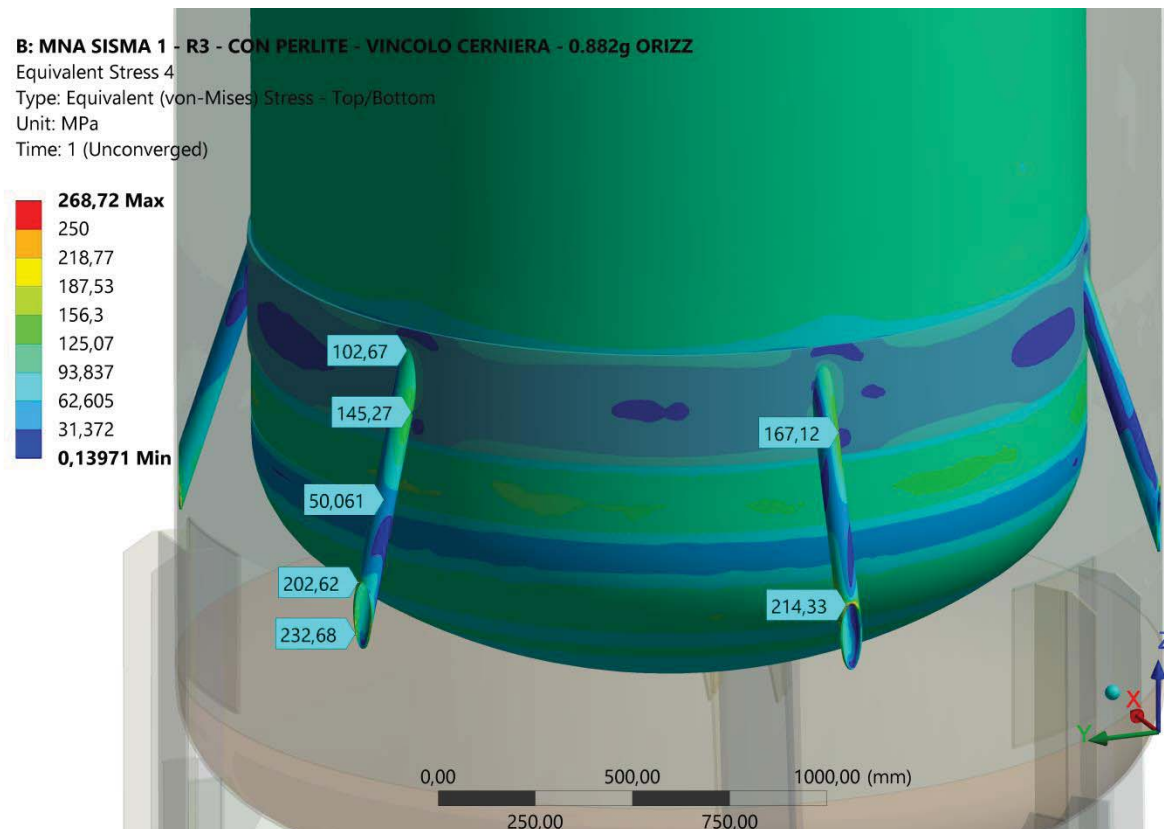


Figura 6. Serbatoio con perlite - Sforzi di Von Mises, particolare supporti di collegamento tra serbatoio interno e involucro esterno

6. Conclusioni

Il presente lavoro mette in evidenza l'importanza della corretta caratterizzazione della perlite posta nell'intercapedine tra involucro esterno ed interno del serbatoio al fine della determinazione della sua risposta sismica.

Le simulazioni, effettuate con ipotesi di carichi sismici estremamente conservative, hanno mostrato due condizioni di criticità differenti.

In particolare, nel caso senza perlite, il collasso plastico della struttura avviene al 78% del carico sismico a causa del cedimento dei supporti tra serbatoio interno e serbatoio esterno; questa condizione (come si evince dallo spostamento relativo tra serbatoio interno ed esterno) provoca il collasso del serbatoio interno.

In presenza di perlite il collasso plastico della struttura avviene al 93% del carico sismico a causa del cedimento delle gambe. Lo spostamento relativo tra serbatoio interno e serbatoio esterno risulta significativamente inferiore rispetto al caso senza perlite, non compromettendo l'integrità della struttura. A tale livello di carico i supporti interni non risultano infatti in una condizione di plasticizzazione.

Si noti come, sempre nel caso di presenza di perlite, lo scostamento dalle condizioni di verifica sia decisamente marginale. Di conseguenza, nelle condizioni di normale installazione è ragionevole affermare che la struttura riesca a sopportare il 100% del carico sismico assegnato.

Dalle valutazioni effettuate si è evidenziato che la definizione di parametri di partenza omogenei porta a una maggiore ripetibilità dei risultati. Assogastecnici ha di conseguenza

programmato il proseguimento dei lavori del proprio Comitato con l'obiettivo di caratterizzare un metodo di calcolo adatto a codici di ingegneria civile più diffusi.

Bibliografia

- [1] Merli Engineering. Analisi sismica di un serbatoio 20000L, 2016
- [2] Assogastecnici. Linea Guida Assogastecnici Normativa Antisismica - Strumenti interpretativi e criteri di adeguamento per i serbatoi criogenici di stoccaggio, 2014
- [3] Leoni E, Rossi F. Aspetti critici per la verifica sismica secondo le NTC dei serbatoi criogenici in pressione, in atti della Conferenza SAFAP 2010, pp. 47-56, Venezia, 2010
- [4] Barbagallo D, Zecchini D. Applicazione del quadro normativo vigente sulle costruzioni antisismiche ai serbatoi criogenici, in atti della Conferenza SAFAP 2014, pp. 126-134, Roma, 2014.