

**CONVEGNO NAZIONALE VALUTAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO
NEGLI INSEDIAMENTI CIVILI ED INDUSTRIALI**

Valutazione della esercibilità di un recipiente a pressione danneggiato: applicazione del “Fitness for Service”, validazione dei risultati e proposta di linea guida applicativa della bozza del DM di cui all’art. 19 del D. Lgs. 93 del 25 febbraio 2000.

ING. R. BALISTRERI¹, ING.V. ANNOSCIA², ING. R. COZZA³, P.I. M. SERRA⁴

¹ISPESL, Dipartimento di Cagliari, - Via Malta, 45 - Tel. 070651236- Fax 070673956
ispesl.cagliari@tiscali.it, Italia

²ISPESL, Dipartimento di Bari, - Via Piccinni, 164 - Tel. 0805237363 - Fax 0805232660
ispeslbari@libero.it, Italia

³SARAS, Ingegneria di Manutenzione, SS 195, km 18, Sarroch, riccardo.cozza@saras.it, Italia

⁴SARAS, Ingegneria di Manutenzione, SS 195, km 18, Sarroch, mario.serra@saras.it, Italia

SOMMARIO

Estratto dalla:

*“PROPOSTA DI NORME PER LA MESSA IN SERVIZIO E UTILIZZAZIONE DELLE ATTREZZATURE A PRESSIONE E DEGLI INSIEMI DI CUI AL D.LGS. 25 FEBBRAIO 2000 N. 93” (rev. 21.5.2002)[1]
...omissis*

ART. 8

Verifiche di integrità

1. La verifica di integrità consiste nell’ispezione delle varie membrature mediante esame visivo eseguito dall’esterno e dall’interno, ove possibile, in controlli spessimetrici ed eventuali altri controlli che si rendano necessari a fronte di situazioni evidenti di danno.

2. Ove nella rilevazione visiva e/o strumentale si dovessero riscontrare difetti che possano in qualche modo pregiudicare l’ulteriore esercibilità dell’attrezzatura, dovranno essere intraprese, per l’eventuale autorizzazione da parte dell’Ente preposto, le opportune indagini supplementari atte a stabilire non solo l’entità del difetto ma anche la sua possibile origine. Ciò al fine di intraprendere le azioni più opportune di ripristino della integrità strutturale del componente, oppure a valutarne il grado di sicurezza commisurato al tempo di ulteriore esercibilità con la permanenza dei difetti riscontrati.

Omissis....

Questa memoria, partendo dalle conclusioni che gli autori hanno presentato in un precedente convegno, vuole proporre un esempio pratico-applicativo del metodo “Fitness for Service” e in particolare la valutazione dell’ulteriore esercibilità di un recipiente a pressione in presenza di difetti con l’applicazione delle procedure di livello 2 e 3 della norma API 579[2], tecnicamente più complesse.

Si svolgeranno per il caso reale le metodologie di analisi agli elementi finiti proposte dalla norma e si esamineranno i risultati ottenuti. Poiché lo scopo è sostanzialmente quello di valutare l’affidabilità del metodo e di proceduralizzarne la gestione da parte dei competenti organi di vigilanza, gli autori metteranno a confronto i risultati dell’analisi con studi analoghi presenti in letteratura e proporranno una linea guida che sarà valutata in seno ai gruppi di lavoro nazionali, a cui gli Autori partecipano, per l’emanazione di un documento ufficiale.

Lo scopo è quello di implementare il contenuto del comma 2 dell’art. 8 della bozza di Decreto Ministeriale di cui all’art. 19 del D. Lgs. 93 del 25 febbraio 2000[3], con delle procedure condivise e rispettose del livello di sicurezza imprescindibile nella gestione delle attrezzature a pressione negli impianti dell’industria di processo e in particolare di quelli a grande rischio d’incidente rilevante.

Si precisa che quanto scritto in questo articolo è frutto delle valutazioni e delle esperienze dei singoli autori e non vincola assolutamente gli enti o le società a cui appartengono.

1. Introduzione

Durante l'ispezione programmata di un recipiente a pressione esercito in un impianto a ciclo continuo, è stata individuata un'area corrosa, nella generatrice inferiore, in corrispondenza della zona di saldatura tra mantello e fondo ellittico.

In particolare la corrosione ha interessato una zona di 300 x 100 mm in cui lo spessore minimo sul fondo è risultato di 9,4 mm rispetto allo spessore nominale di 18 mm e sul mantello di 9,6 mm rispetto allo spessore nominale di 16 mm.

E' stata eseguita una verifica con il metodo proposto dalla 4° Sezione della API 579 confrontata con un ricalcolo "tradizionale" realizzato secondo ASME sez.VIII, div.1[4].

2. Dati di progetto

MATERIALE	ASTM A 516-79 Gr.70
DIAMETRO ESTERNO	2032 mm
DIAMETRO INTERNO NOMINALE	2000 mm
SPESSORE NOMINALE FONDO	18 [mm]
SPESSORE NOMINALE MANTELLO	16 [mm]
PRESSIONE DI PROGETTO	1,96 [MPa]
PRESSIONE DI ESERCIZIO	1,72 [MPa]
TEMPERATURA DI PROGETTO	40 [°C]
SOLLECITAZIONE AMMISSIBILE @ 40 °C	174 [MPa]

3. Ricalcolo preliminare

Mantello e fondo ellittico sono stati ricalcolati in accordo all'API 579 Appendice A ed in particolare considerando le formule A.2 per il mantello cilindrico e A.14 per il fondo ellittico.

L'FCA (Future Corrosion Allowance) è stato posto uguale a 0 in quanto le parti metalliche sono state protette da un rivestimento di gunitatura antiacida.

Gli spessori minimi di calcolo del mantello e del fondo sono (determinati secondo la norma ASME sezione VIII):

3.1 Mantello Cilindrico: determinazione dello spessore

S sollecitazione ammissibile [Mpa]	174
E efficienza saldatura	1,00
D diametro interno [mm]	2.000,00
P pressione di progetto [Mpa]	1,96

$$t \text{ [mm]} = \frac{P \cdot D / 2}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} = 11,34 \quad (1)$$

3.2 Fondo Ellittico: determinazione dello spessore

S sollecitazione ammissibile [Mpa]	174
E efficienza saldatura	1,00
D diametro interno [mm]	2.000,00
P pressione di progetto [Mpa]	1,96

$$t \text{ [mm]} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} = 11,28 \quad (2)$$

I ricalcoli sono stati effettuati anche considerando la situazione corrosa, ovvero con:

spessore minimo mantello:	9,7 mm
spessore minimo fondo ellittico:	9,4 mm

Nello specifico, la determinazione della massima pressione ammissibile del recipiente (MAWP) sarà la minima tra quelle calcolate con la (3) e la (4), nelle condizioni della (1) e della (2) rispettivamente, ma con gli spessori minimi misurati; in particolare avremo per il mantello:

$$t_{\text{spessore}} [\text{mm}] = 9,70$$

$$P = \frac{S \cdot E \cdot t}{D/2 + 0,6 \cdot t} = 1,68 \text{ MPa} \quad (3)$$

e per il fondo ellittico:

$$t_{\text{spessore}} [\text{mm}] = 9,40$$

$$P = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{D + 0,2 \cdot t} = 1,63 \text{ MPa} \quad (4)$$

Pertanto il recipiente, nella situazione corrosa, avrebbe una nuova MAWP (Maximum Allowable Working Pressure) o pressione di progetto, pari a 1,63 MPa.

3.3 Reticolo degli spessori

Il difetto è stato caratterizzato con un reticolo 100 X 100 e, nella zona di riduzione dello spessore più accentuata, ed al fine di caratterizzare meglio il difetto sul piano longitudinale del fondo ellittico, da un reticolo 20 x 20 (vedi fig. 1).

		Piani di Ispezione Circonferenziali															CTP Circ.	CTP Circ.Fon.	CTP Circ.Man.							
		3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	5.1	6	7	8	9				10	11	12	13	14	15	
Piani di Ispezione Longitudinali	B	18.2	nd	nd	nd	nd	17.7	nd	nd	nd	nd	18.4	13.2	13.3	14.4	14.9	15.3	15.4	15.4	15.4	15.5	16.6	13.2	17.7	13.2	
	C	17.5	nd	nd	nd	nd	15.9	nd	nd	nd	nd	16.2	11.6	12.4	13.6	14.1	14.4	14.1	15.2	14.8	14.8	15.1	11.6	15.9	11.6	
	D	16.5	nd	nd	nd	nd	15.0	nd	nd	nd	nd	16.3	10.5	11.3	11.7	11.8	12.6	13.3	13.6	12.9	13.5	14.4	10.5	15.0	10.5	
	E	16.2	nd	nd	nd	nd	13.0	nd	nd	nd	nd	10.7	10.9	12.1	9.7	11.5	11.5	11.4	12.7	12.5	12.9	13.2	9.7	10.7	9.7	
	F.1	14.8	13.4	14.4	9.5	14.0	9.6	9.9	14.3	15.6	14.7	16.7	11.1	11.2	11.9	12.7	12.9	12.9	13.0	12.7	13.0	13.2	9.5	9.5	11.1	
	F.2	15.1	14.2	13.8	14.8	10.0	9.7	15.7	13.7	15.2	15.8	16.7	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9.7	9.7	
	F.3	14.3	13.6	13.8	9.4	14.9	15.1	15.5	15.3	15.8	16.0	16.1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9.4	9.4	
	F.4	14.9	13.9	9.7	13.4	9.5	14.5	15.4	9.9	15.8	15.0	16.1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9.5	9.5	
	F.5	15.0	14.2	14.2	13.8	14.2	14.8	9.8	9.9	14.6	16.0	15.7	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9.8	9.8	
	G.1	14.7	12.8	13.4	10.0	13.8	9.4	15.4	14.7	9.9	15.5	16.2	10.9	12.2	11.7	13.1	12.9	12.7	12.8	12.9	13.1	13.2	9.4	9.4	10.9	
	G.2	14.9	13.7	13.6	13.5	14.8	15.5	15.8	15.5	15.8	15.8	16.8	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	13.5	13.5	
	G.3	14.9	13.5	13.8	13.6	14.8	9.6	14.9	15.2	15.1	15.5	10.2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9.6	9.6	
	G.4	14.2	13.6	13.0	13.3	14.8	14.9	14.2	15.4	10.1	15.9	16.1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10.1	10.1	
G.5	13.9	14.2	14.1	14.6	14.5	15.3	15.8	15.4	15.0	15.9	16.6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	13.9	13.9		
H.1	14.7	13.3	13.7	13.1	13.3	9.4	14.6	10.4	11.0	15.5	10.9	11.4	11.8	12.4	12.7	13.0	12.9	12.9	13.0	13.1	13.5	9.4	9.4	11.4		
I	16.3	nd	nd	nd	nd	12.6	nd	nd	nd	nd	15.1	10.6	11.6	12.5	11.6	11.6	12.2	12.4	12.5	12.6	13.4	10.6	12.6	10.6		
J	18.2	nd	nd	nd	nd	13.7	nd	nd	nd	nd	15.4	10.6	11.1	10.7	11.2	11.9	12.0	12.0	13.0	13.6	13.9	10.6	13.7	10.6		
K	18.1	nd	nd	nd	nd	16.2	nd	nd	nd	nd	17.4	12.7	13.1	13.3	13.9	13.3	14.3	14.3	14.5	15.0	14.9	12.7	16.2	12.7		
L	18.5	nd	nd	nd	nd	17.7	nd	nd	nd	nd	18.7	13.6	14.3	14.7	14.9	15.4	15.2	15.3	15.5	15.5	15.6	13.6	17.7	13.6		
CTP Long.		13.9	12.8	9.7	9.4	9.5	9.4	9.8	9.9	9.9	14.7	10.2	10.5	11.1	9.7	11.2	11.5	11.4	12.0	12.5	12.6	13.2	9.4	9.4	9.7	

Figura 1

Le dimensioni del difetto, considerando, per approssimazione, lo spessore minimo ammissibile pari a 11,3 mm ed in accordo all'API 579 è pari a:

- ✓ s (dimensione longitudinale) = 604 mm
- ✓ c (dimensione circonferenziale) = 690 mm

Per il solo fondo, le dimensioni del difetto sono:

- ✓ s = 170 mm
- ✓ c = 374 mm

Per il solo mantello, le dimensioni del difetto sono

- ✓ $s = 433 \text{ mm}$
- ✓ $c = 626 \text{ mm}$

La linea di saldatura tra fondo e mantello è in corrispondenza del piano 6.
 La zona considerata corrosa, con spessore inferiore a 11,3 mm, è evidenziata con sfondo grigio.
 La zona del fondo è evidenziata con sfondo verde, quella del mantello cilindrico con sfondo giallo.

3.4 Verifica API 579, Sezione 4°

Il caso in esame viene risolto con una valutazione di livello 2 dal momento che la connessione fasciame fondo costituisce una zona di discontinuità assialsimmetrica. Nella verifica il fasciame e il fondo vengono considerati separatamente. Procediamo quindi con le verifiche di:

- ✓ Livello 2 per il mantello cilindrico.
- ✓ Livello 2 per il fondo ellittico;

3.4.1. Verifica di livello 2 della parte cilindrica

Prevede i seguenti passi:

Step 1	$t_{\min} =$	11,300	
Step 2	$t_{\text{mm}} =$	9,700	
Step 3.1	FCA =	0	
	$D_i =$	2000	
	$t_v =$	16	
4.2	$R_t = (t_{\text{mm}} - \text{FCA}) / t_{\min} =$	0,9	(5)
	$\text{RSF}_a =$	0,900	
Step 3.2	$R_t < \text{RSF}_a$ (quindi si applica la 4.15 per determinare Q)	vero	(6)
4.15	$Q = 1.123 * [((1 - R_t) / (1 - R_t / \text{RSF}_a))^2 - 1]^{0,5} =$	3.3	(7)
4.3	$L = Q * (D_i * t_{\min})^{0,5} =$	488.9	(8)
	$L_v = (D_i / 2 * t_v)^{0,5} =$	126.5	(9)

Si valutano quindi gli spessori medi sia in direzione longitudinale che in direzione circonferenziale.

Il valore medio viene calcolato tenendo in considerazione solamente le misure comprese nella lunghezza L_v .

Il valore di L_v rappresenta la lunghezza del componente in cui è significativa l'alterazione di tensione determinata dalla discontinuità.

$$t_{\text{am}}^s = 10.54$$

$$t_{\text{am}}^c = 10.74$$

Per semplificare il calcolo consideriamo:

$$t_{\text{am}} = \text{MIN}[t_{\text{am}}^s; t_{\text{am}}^c] = 10.54 \quad (10)$$

e quindi, poiché

$$t_{\text{am}} - \text{FCA} \geq \text{RSF}_a * t_{\min} \quad (11)$$

$$10.54 \geq 0.9 * 11.3 = 10.17 \quad \text{verificato}$$

3.4.2. Verifica di livello 2 della parte ellittica:

Prevede i seguenti passi:

Step 1	$t_{\min} =$	11,300	
Step 2	$t_{\text{mm}} =$	9,400	
Step 3.1	FCA =	0	
	$D_i =$	2000	
	$t_v =$	18	
4.2	$R_t = (t_{\text{mm}} - \text{FCA}) / t_{\min} =$	0,8	(12)
	$\text{RSF}_a =$	0,900	
Step 3.2	$R_t < \text{RSF}_a$ (quindi si applica la 4.15 per determinare Q)	vero	(13)
4.15	$Q = 1.123 * [((1 - R_t) / (1 - R_t / \text{RSF}_a))^2 - 1]^{0,5} =$	2.2	(14)
4.3	$L = Q * (D_i * T_{\min})^{0,5} =$	334.8	(15)
	$L_v = (D_i / 2 * t_v)^{0,5} =$	134.2	(16)

Vengono quindi valutati gli spessori medi sia in direzione longitudinale che in direzione circonferenziale. Il valore medio è calcolato tenendo in considerazione solamente le misure comprese nella lunghezza L_v .

Il valore di L_v rappresenta la lunghezza del componente in cui è significativa l'alterazione di tensione determinata dalla discontinuità.

$$t_{\text{am}}^s = 9.62$$

$$t_{\text{am}}^c = 9.55$$

consideriamo quindi

$$t_{\text{am}} = \text{MIN}[t_{\text{am}}^s; t_{\text{am}}^c] = 9.55 \text{ mm} \quad (17)$$

e quindi, poiché

$$t_{\text{am}} - \text{FCA} \geq \text{RSF}_a * t_{\min}$$

$$9.55 \geq 0.9 * 11.3 = 10.17 \quad \text{non verificato} \quad (18)$$

La nuova MAWP sarà pari a

$$P = \frac{2 * S * E * t}{D + 0,2 * t} = 1,84 \text{ MPa} \quad (19)$$

3.5. Valutazione dell'applicazione del livello 2 al difetto:

La nuova pressione di progetto dell'apparecchio è di poco superiore a 1,8 MPa.

L'applicazione del livello 2 delle API 579, permette di incrementare la pressione di progetto, calcolata considerando gli spessori corrosi e i "tradizionali" metodi di circa il 12%.

A fronte di una riduzione di circa il 20% rispetto allo spessore minimo di calcolo la riduzione della MAWP rispetto alla pressione originale di progetto è pari al 6.5 %.

I metodi tradizionali di calcolo avrebbero portato ad una riduzione della pressione di progetto, riferita a quella originale, di circa il 20%.

4. Applicazione del livello 3

L'applicazione del livello 3 si svolge secondo quanto previsto nell'Appendice B delle API 579. In particolare si esegue la valutazione delle sollecitazioni con un'analisi lineare in campo elastico e la successiva verifica delle sollecitazioni massime ricavate in funzione della sollecitazione massima equivalente di von Mises (criterio della massima energia di deformazione). La stabilità strutturale è garantita se le sollecitazioni ottenute e opportunamente categorizzate rientrano nei valori limite previsti. In particolare abbiamo, in mancanza di sollecitazioni da fatica, i seguenti limiti:

$$\checkmark P_m \leq k \cdot S_m \quad (20)$$

$$\checkmark P_1 \leq 1,5 \cdot k \cdot S_m \quad (21)$$

$$\checkmark P_1 + P_b \leq 1,5 \cdot k \cdot S_m \quad (22)$$

$$\checkmark P_1 + P_b + Q \leq 3 \cdot S_m \quad (23)$$

Inoltre dev'essere verificato che la somma algebrica delle tre sollecitazioni primarie nel punto maggiormente sollecitato siano tali che:

$$\checkmark (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \leq 4 \cdot S_m \quad (24)$$

I simboli delle formule precedenti hanno i seguenti significati:

P_m è la sollecitazione generale primaria di membrana;

P_1 è la sollecitazione locale primaria di membrana;

P_b è la sollecitazione locale primaria dovuta alla flessione;

Q è la sollecitazione secondaria di membrana.

I parametri S_m e k delle formule precedenti hanno i seguenti significati e valori:

✓ $S_m = 174,00$ MPa, è la sollecitazione ammissibile alla temperatura di progetto del materiale (vedi paragrafo B.2.3.1.a);

✓ $k = 1$ è il fattore di intensificazione degli sforzi (vedi tabella B.1).

Si è indagato sulle sollecitazioni presenti nel difetto in funzione dei diversi carichi agenti nel difetto; si è proceduto con due diversi criteri di analisi agli elementi finiti: analisi assialsimmetrica e analisi con elementi shell.

4.1. Analisi assialsimmetrica

La prima analisi è stata di tipo assialsimmetrico con l'ausilio di un modello (vedi fig. 2) costituito da elementi tipo "brick". Il modello assialsimmetrico assume che il difetto sia esteso a tutta la circonferenza anziché sulla sua reale localizzazione; questa ipotesi semplificativa risulta facilmente implementabile e non eccessivamente penalizzante.

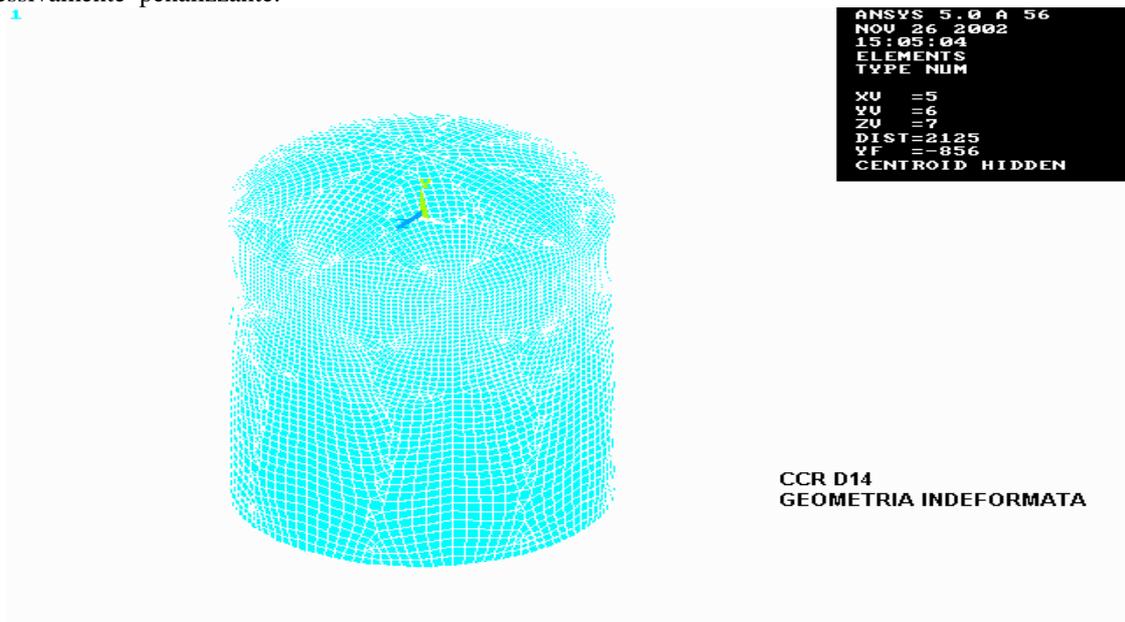


Figura 2

Le sollecitazioni ricavate dall'analisi FEM del modello riprodotto il difetto in una zona estesa per 300

mm con maglia 20*20 mm, sono state confrontate con le sollecitazioni ammissibili più sopra definite, e riassunte nella tabella 1.

Sollecitazioni e combinazioni di sollecitazioni		Sollecitazioni ammissibili: y^*			
$P_m =$	110,00 MPa	\leq	$k \cdot S_m =$	174,00 MPa	Vero
$P_1 =$	177,00 MPa	\leq	$1,5 \cdot k \cdot S_m =$	262,00 MPa	Vero
$P_1 + P_b =$	342,00 MPa	\leq	$1,5 \cdot k \cdot S_m =$	262,00 MPa	Falso
$P_1 + P_b + Q =$	410,00 MPa	\leq	$3 \cdot S_m =$	524,00 Mpa	Vero

Tabella 1

4.2. Analisi con elementi shell

L'analisi FEM con elementi shell ha prodotto dei modelli rappresentati nelle figure 3, 4 e 5.

Il difetto è stato localizzato e riprodotto schematicamente con elementi tipo "shell" quadrilateri; i modelli riprodotti sono: due assialsimmetrici, risolti utilizzando differenti programmi, e uno "reale" in cui le aree sotto spessore sono state opportunamente discretizzate. A ciascun elemento shell è stato associato un opportuno spessore medio ricavato dall'indagine spessimetrica. In quest'ultimo modello, poiché l'indagine ha evidenziato una scarsa sensibilità alle minime differenze di spessore tra gli elementi shell, si è preferito semplificare inserendo due sole tipologie di spessore oltre a quello nominale. Si sono utilizzati spessori corrosi di 9,5 e di 13,5 mm, localizzati approssimativamente nell'intorno delle zone dove l'indagine spessimetrica evidenziava un massimo picco di corrosione.

I valori di tale indagine devono essere confrontati come somma delle sollecitazioni membranali e flessionali, ricavabili dalla media delle sollecitazioni superficiali e cioè secondo la seguente formula:

$$\checkmark \quad P_1 + P_b \leq 1,5 \cdot k \cdot S_m$$

L'indagine ha prodotto i risultati rappresentati nelle fig. 3, 4 e 5 e riassunti rispettivamente nelle tabelle 2, 3 e 4, in funzione della tipologia di modello analizzato.

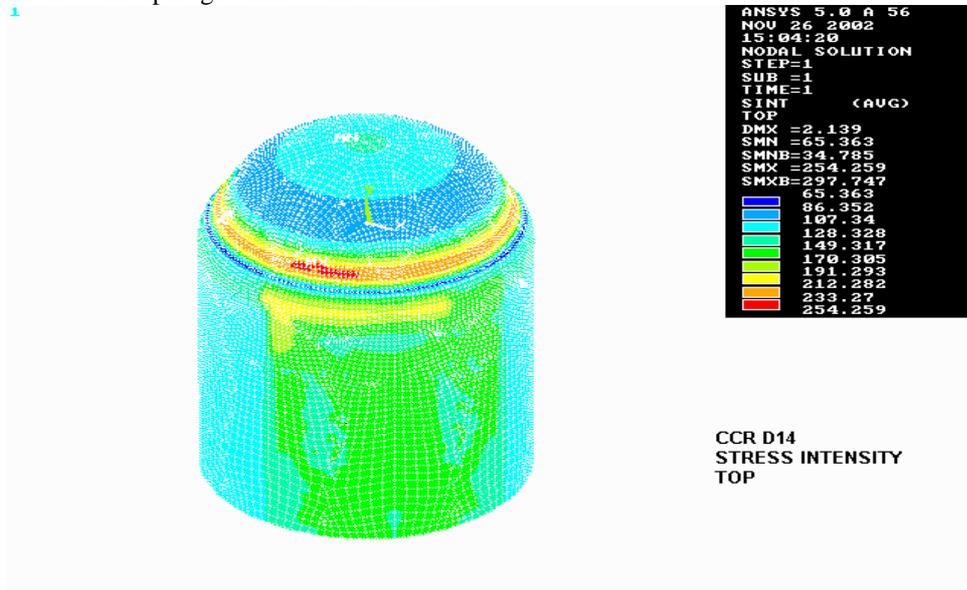


Figura 3: modello assialsimmetrico tipo shell (ANSYS)

Tabella 2 (riferita alla figura 3)

Sollecitazioni e combinazioni di sollecitazioni		Sollecitazioni ammissibili: y^*			
$P_1 + P_b$ (interno) =	254,00 MPa	\leq	$1,5 \cdot k \cdot S_m =$	262,00 MPa	Vero
$P_1 + P_b$ (esterno) =	201,00 MPa	\leq	$1,5 \cdot k \cdot S_m =$	262,00 MPa	Vero

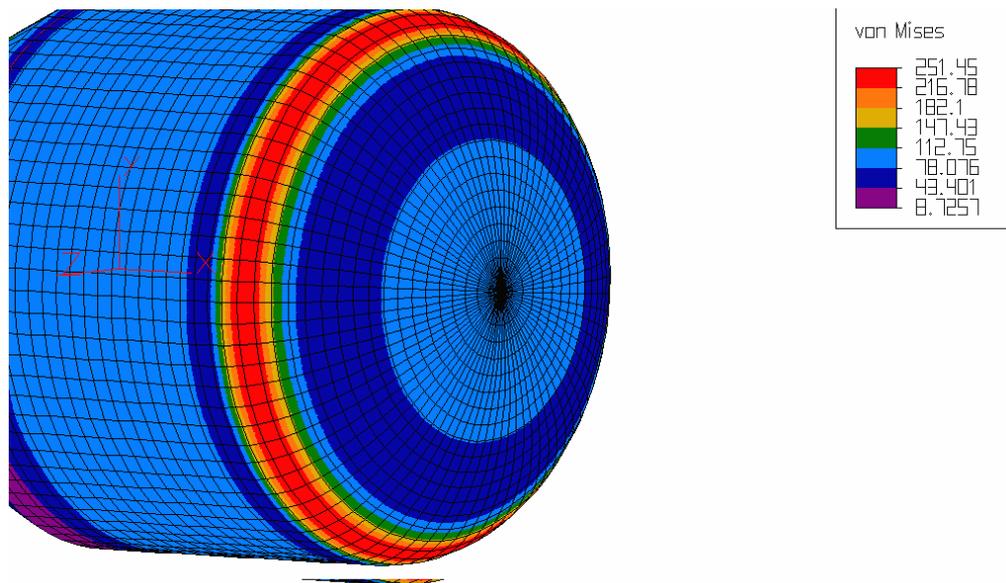


Figura 4: modello assialsimmetrico tipo shell (ALGOR)

Tabella 3 (riferita alla figura 4)

Sollecitazioni e combinazioni di sollecitazioni		Sollecitazioni ammissibili: y^*		
$P_1 + P_b$ (interno) =	251,00 MPa	\leq	$1,5^* k^* S_m =$	262,00 MPa Vero
$P_1 + P_b$ (esterno)=	182,00 MPa	\leq	$1,5^* k^* S_m =$	262,00 MPa Vero

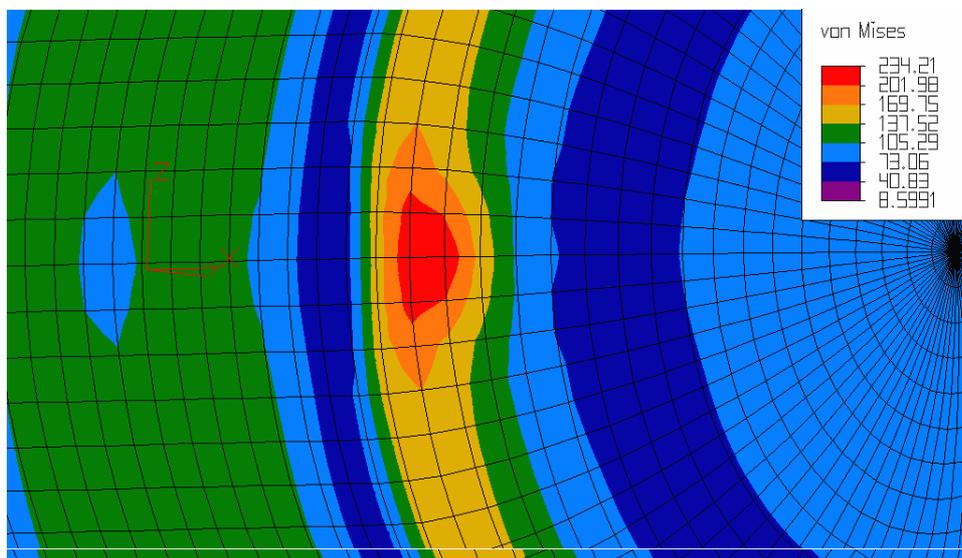


Figura 5: modello "reale" tipo shell (ALGOR)

Tabella 4 (riferita alla figura 5)

Sollecitazioni e combinazioni di sollecitazioni		Sollecitazioni ammissibili: y^*		
$P_1 + P_b$ (interno) =	234,00 MPa	\leq	$1,5^* k^* S_m =$	262,00 MPa Vero
$P_1 + P_b$ (esterno)=	175,00 MPa	\leq	$1,5^* k^* S_m =$	262,00 MPa Vero

4.3. Valutazione dell'applicazione del livello 3 al difetto:

L'indagine ha evidenziato come i risultati delle valutazioni svolte siano congruenti malgrado le diverse tipologie di modellazione scelta. Per tutte è stato verificato che l'apparecchiatura, vista anche l'integrità complessiva del materiale, sia ancora esercibile in condizioni di sicurezza.

Si vuole inoltre evidenziare che i modelli più complessi garantiscono risultati più vicini al reale comportamento della membratura. E d'altra parte è fondamentale raggiungere un compromesso tra risultati conservativi ricavati da modelli meno precisi e i lunghi tempi di modellazione e di calcolo necessari per risolvere modelli più realistici.

La scelta è sempre in mano al progettista che valuta, in base alla sua esperienza e al caso specifico, quale tipo di modello è più opportuno scegliere. E non di meno va considerata la maggior garanzia che si ha nello scegliere modelli conservativi i cui risultati sono più facilmente interpretabili.

5. Indagine bibliografica

Si è svolta un'indagine bibliografica per verificare l'attendibilità del metodo assialsimmetrico con elementi tipo "brick": in modo particolare su attrezzature a pressione con locali riduzioni di spessore. Si è rilevata una precisa congruenza con quanto già evidenziato da altri autori (M.T. Kirk e altri)[5] in pubblicazioni specializzate. Il modello predisposto ha fornito risultati in linea con quanto già valutato dal Kirk.

Sono stati svolti da autori vari (A. De Padova e altri)[6] importanti verifiche sull'esattezza dell'indagine agli elementi finiti; in particolare De Padova ha svolto un confronto tra i risultati sperimentali e quelli ottenuti da modelli agli elementi finiti. Malgrado le necessarie semplificazioni, si è dimostrato che il modello agli elementi finiti è in grado di predire in modo molto accurato le sollecitazioni e le deformazioni plastiche che si sono ottenute sperimentalmente.

6. Linea guida

In questo capitolo si vuole proporre una "linea guida" che sia un riferimento per gli Organismi preposti al controllo delle attrezzature in pressione e per gli Utenti che le eserciscono.

Innanzitutto bisogna definire le responsabilità nel procedimento autorizzativo. In particolare le **"Responsabilità del procedimento di valutazione"** possono individuarsi nella stessa norma API.

L'API 579 prende in considerazione le responsabilità nella Sezione 1 al capitolo 1.4; le considerazioni proposte possono essere trasferite con le opportune modifiche alla realtà italiana.

La norma individua tre figure responsabili in diverso modo:

1. **Il proprietario – utente:** ha la responsabilità generale del procedimento (overall responsibility); con ciò si intende, evidentemente, che la responsabilità verso *l'esterno* è la sua. La sua responsabilità non è però di carattere tecnico, in quanto questa è coperta da altre due figure, che sono responsabili nei suoi confronti. In particolare:

2. **L'Ispettore:** è responsabile delle ispezioni e delle prove, che devono essere realizzate in conformità alle API 510[7], API 570[8] e API 653[9]; inoltre è responsabile dell'acquisizione dei dati necessari secondo le sezioni applicabili per la FFS, nonché della conservazione dei risultati della valutazione. E' pienamente responsabile della valutazione di tipo "screening", come definita per il Livello 1 nella sezione 2 al paragrafo 2.4. L'ispettore deve essere qualificato secondo quanto previsto dalle tre norme API prima citate.

3. **L'Ingegnere progettista:** è responsabile della maggior parte delle valutazioni di FFS, delle relative documentazioni e delle raccomandazioni derivanti dal processo di valutazione. L'unica eccezione è l'analisi di tipo screening, di cui è responsabile l'Ispettore; tuttavia anche per questo procedimento è necessario che l'Ingegnere faccia una supervisione. Sono richieste diverse specializzazioni per la valutazione dei diversi aspetti della procedura: meccanico/strutturale, meccanica della frattura, ispettivo, CND, di processo, ecc. E' richiesta la laurea ed una esperienza di minimo due anni nel settore di competenza.

Quanto detto sopra può essere tradotto nella normativa italiana se si aggiungono alcune considerazioni di raccordo.

- ✓ Sia che le attrezzature siano state immesse sul mercato con la marcatura CE o siano conformi alle leggi antecedenti la Direttiva 97/23/CE, queste sono state costruite secondo un ben preciso sistema che prevede chiare responsabilità e specifici doveri.
- ✓ Della gestione dell'attrezzatura è responsabile l'utilizzatore, che deve attuare tutte le procedure per la gestione in sicurezza dell'attrezzatura.

- ✓ Il procedimento di FFS in esame, applicato alla corrosione uniforme, (considerazioni analoghe valgono per altri tipi di difetto) richiede di valutare se l'attrezzatura con un tasso di corrosione superiore a quello previsto in fase di progetto è ancora esercibile.

Ciò premesso, non vi è dubbio che la richiesta di deroga rispetto all'immediata messa fuori servizio dell'attrezzatura debba essere attivata dall'utente, come definito nelle norme italiane. L'utente, che in linea di massima è anche datore di lavoro, è responsabile della sicurezza delle attrezzature di lavoro e, quindi, si assumerà la piena responsabilità nell'attivare l'analisi e valutazione del rischio, fatta salva la responsabilità del fabbricante, nel caso non siano scaduti i termini della vita utile prevista in fase progettuale.

In quest'ultima ipotesi si ritiene che il fabbricante debba essere coinvolto. Una volta accertato che i difetti non siano addebitabili ad errori di progettazione e/o di fabbricazione, il fabbricante dovrà autorizzare o comunque indicare le sue specifiche considerazioni circa l'esercizio nelle nuove condizioni derivanti dal processo di FFS.

Questo tipo di autorizzazione non si ritiene che debba essere acquisita nel caso il difetto si sia evidenziato oltre i tempi di vita utile prevista.

Per l'attuazione della FFS l'utente si avvarrà, ovviamente, di figure professionali, che dovranno avere le necessarie competenze ed esperienze, analogamente a quanto richiesto dalla norma API 579.

E' evidente che l'utente è il primo interessato ad avvalersi di figure che lo salvaguardino, e quindi di livello adeguato alla complessità del procedimento di valutazione.

Tuttavia, poiché la collettività è interessata soprattutto a prevenire il verificarsi di eventi dannosi, occorre che siano date delle garanzie oggettive circa il livello di competenza e questo può ottenersi solo con opportune qualificazioni del personale.

Per quanto riguarda l'ispezione, si ritiene che gli addetti debbano avere le necessarie qualificazioni previste dalle norme italiane (ad esempio la norma UNI EN 473[10] per i controlli non distruttivi), se si adoperano specifici strumenti di indagine e diagnosi e/o una accertabile esperienza nel settore specifico, di almeno due anni.

Per tutte le altre fasi del procedimento di FFS, soprattutto per i livelli di approccio 2 e 3, si dovrà far riferimento ad ingegneri che abbiano una competenza ed esperienza "accertabile" nei settori specifici (questo soprattutto per quelle parti della FFS che richiedono delle analisi di carattere strutturale, la cui competenza è riconosciuta dalla legislazione italiana esclusivamente agli ingegneri).

Questo non toglie che per aspetti specifici, tipo valutazioni metallurgiche o di processo, non debbano essere coinvolte figure professionali con specifica competenza.

La nostra proposta, in sintesi, vuole richiamare quanto già l'ISPESL ha indicato nelle circolari relative alle procedure di autorizzazione all'ulteriore esercibilità di attrezzature soggette allo scorrimento viscoso e che hanno superato la vita utile "progettuale". Pertanto, in analogia alla linea tracciata dalla Circolare 48/2003 (creep) [11], potremmo individuare innanzi tutto le seguenti figure:

- Ente Preposto (EP). Ente che verifica la valutazione FFS e che concede l'autorizzazione all'ulteriore esercizio;
- Esercente (ES). Responsabile dell'esercizio dell'attrezzatura a pressione oggetto della valutazione FFS;
- Progettista (PR). Tecnico abilitato iscritto all'albo professionale incaricato dall'esercente per la valutazione FFS (Fitness For Service). Egli dovrà possedere specifica competenza in materia di FFS;

e le seguenti attività:

1) NOTIFICA ALL'ENTE PREPOSTO

L'ES comunica all'EP l'inizio di valutazione FFS dell'apparecchio danneggiato, allegando una relazione preliminare del PR in cui si evidenziano:

- Caratteristiche di progetto dei componenti;
- Tipo dei difetti riscontrati;
- Criterio utilizzato per la valutazione FFS;
- Valutazione preliminare e Piano dei Controlli;

Il PR predispose il Piano dei Controlli mirato alla caratterizzazione del difetto.

Il tecnico dell'EP, nella valutazione preliminare, evidenzierà eventuali estensioni e/o modifiche ai documenti preliminari inviati dall'ES.

2) VALUTAZIONI FINALI

Il PR deve presentare una relazione conclusiva, comprensiva della "Dichiarazione di ulteriore esercibilità" redatta conformemente a quanto disposto dall'art.1 del DM 21 novembre 1972[12], sulle

valutazioni effettuate sui componenti tenendo conto dei risultati di tutte le analisi eseguite in conformità ad una norma/raccomandazione riconosciuta (API 579, BS 7910[13]), allo scopo di formulare un giudizio finale sulla ulteriore esercibilità dell'apparecchio. Il PR deve inoltre sottolineare le condizioni di pressione e temperatura alle quali è subordinato l'ulteriore esercizio. Qualora l'esercizio futuro risultasse diverso da quello previsto, l'ES dovrà darne comunicazione immediata all'EP. Contestualmente il PR dovrà individuare il nuovo intervallo temporale di controllo della zona soggetta a danno.

3) AZIONI CORRETTIVE

Nelle valutazioni finali il PR deve indicare, oltre l'intervallo dell'ulteriore esercizio dell'apparecchio le eventuali prescrizioni particolari a cui tale esercizio è subordinato (monitoraggio, manutenzione, declassamento delle condizioni di bollo, variazioni delle condizioni di processo, etc.) e le eventuali azioni correttive da intraprendere (sostituzioni, riparazioni, etc.).

4) AUTORIZZAZIONE

In base alla relazione conclusiva redatta dal PR, l'EP può autorizzare l'ulteriore esercizio dell'apparecchio. Nelle more dell'esame della documentazione da parte dell'EP, ove il PR abbia dichiarato che i componenti abbiano ancora un congruo valore di vita residua, l'apparecchio s'intende autorizzato provvisoriamente al funzionamento.

5) SCADENZE TEMPORALI

Le valutazioni successive alla valutazione FFS, devono essere ripetute ad intervalli che saranno funzione dei risultati della valutazione del PR e delle prescrizioni dell'EP.

Il PR deve proporre gli intervalli di ricontrollo tenendo conto del rischio insito nel componente esaminato, mediante una procedura chiaramente identificata e che tenga conto sia della probabilità di rottura che delle conseguenze relative (impiegando ad esempio il metodo RBI[14]).

6) DOCUMENTAZIONE

La pratica di valutazione FFS dovrà contenere oltre alla "Dichiarazione di ulteriore esercibilità" redatta dal progettista tutta la documentazione ad essa relativa.

In particolare dovrà essere presentata

- copia del libretto matricolare;
- copia del disegno costruttivo;
- copia dell'analisi FFS (strutturata per esempio come in API 579 cap. 2.8);
- copia dei certificati delle PND effettuate;
- dichiarazione dell'esercente indicante i parametri storici di esercizio. La dichiarazione deve inoltre contenere un resoconto su eventuali interventi di riparazione o modifica, incidenti, etc.;

7. Conclusioni

A conclusione di questo articolo, si possono evidenziare le seguenti considerazioni.

Grazie all'esempio pratico proposto si sono applicate le procedure previste dalla norma API 579 e si è verificata l'ulteriore esercibilità dell'attrezzatura mediante i tre livelli previsti dalla norma. Del terzo livello, con analisi agli elementi finiti, si sono svolti due diversi approcci: analisi di modelli assialsimmetrici e di un modello "reale". In entrambi i modelli i risultati sono stati favorevoli e il modello assialsimmetrico, per quanto meno preciso (a favore della sicurezza) è risultato di più semplice esecuzione. La verifica di quanto svolto mediante un'indagine bibliografica ha consentito di individuare ulteriori riscontri all'applicazione del modello assialsimmetrico per difetti estesi e del modello "reale" per difetti molto localizzati come le incisioni profonde.

In ultimo si è individuata una linea guida che verrà proposta nei gruppi di lavoro in sede UNI CTI, a cui prendono parte gli estensori dell'articolo e che si spera possa al più presto tradursi, opportunamente ampliata e corretta, in uno strumento valido per l'applicazione della norma API 579.

ING. R. BALISTRERI, ING. V. ANNOSCIA, ING. R. COZZA, P.I. M. SERRA

8. Bibliografia

[1] "Proposta di norme per la messa in servizio e utilizzazione delle attrezzature a pressione e degli insiemi di cui al D.Lgs. 25 febbraio 2000 n. 93" (rev. 21.5.2002)

[2] API RP 579 – Fitness for Service

[3] Direttiva 97/23 CE (PED)

- [4] ASME Boiler & Pressure Vessel Code, sez.VIII
- [5] M. T. Kirk, K. D. Laverty, C. H. Chou , *The evaluation of axisymmetric local thin areas in pressure vessels*. PVP – vol. 315, Fitness for Service and Decision, pp. 243-252 - ASME (1995).
- [6] T. De Padova, J. Robert Sims, *Fitness for Service – Local thin reas comparison of finite element analysis to physical test results*. PVP – vol. 315, Fitness for Service and Decision, pp. 285-292 - ASME (1995).
- [7] API 510 – Codice di Ispezione di Apparecchi in Pressione: Ispezione per Manutenzione, Classificazione, Riparazione e Modifica
- [8] API 570 – Codice di Ispezione di Tubazioni: Ispezione, Modifica, e Riclassifica di Sistemi di Tubazione in Esercizio
- [9] API 653 – Ispezione, Riparazione, Modifica e Ricostruzione di Serbatoi di Stoccaggio.
- [10] UNI EN 473- PND
- [11] Circolare 48/2003– ISPESL
- [12] DM 21 novembre 1972 – Norme per la costruzione degli apparecchi a pressione.
- [13] BSI BS 7910 “Guide on Methods for Assessing the Acceptability of Flaws in Metallic Structures”.
- [14] API 580 – Risk-Based Inspection.