

Alterazioni delle caratteristiche, difetti, meccanismi di degrado nei materiali per le attrezzature in pressione

G. Gabetta

La definizione di "danno" è estremamente ampia e riguarda uno spettro molto vasto di situazioni; ogni tipo di materiale è soggetto a tipologie di danno differenti, a seconda degli impieghi. Il danno può essere classificato in modi diversi, ad esempio facendo riferimento ai meccanismi di degrado, alla analisi delle rotture, alle indagini che permettono di individuarlo, ai metodi di prevenzione... In questo lavoro non si ritiene di affrontare l'argomento in modo esaustivo. Si cercherà comunque di svolgere il tema tenendo conto del punto di vista della Direttiva PED [1].

Parole chiave: corrosione, difetti, caratterizzazione materiali, metalli

INTRODUZIONE - GENERALITÀ

Le attrezzature in pressione operano in un ampio range di pressioni e temperature, e sono in contatto con una grande varietà di ambienti. I materiali utilizzati per le attrezzature in pressione devono rispondere ai requisiti di sicurezza previsti nella Direttiva PED, lavorando nelle condizioni previste per un tempo definito. Occorre quindi tenere conto, nella progettazione e nell'analisi dei rischi, dei possibili meccanismi di danno.

Nella progettazione si considerano eventuali condizioni particolari di esercizio e si prevedono verifiche aggiuntive, che normalmente riguardano:

- Corrosione
- Erosione
- Scorrimento viscoso (Creep)
- Fatica
- Infragilimento.

Ognuno di questi meccanismi può provocare una o più tipologie di danno, che vanno considerate sia all'atto della progettazione che nella loro evoluzione nel tempo (analisi dei rischi, RES, mantenimento dei RES). In generale, l'introduzione delle Direttive di nuovo approccio non ha ancora cambiato i modi di procedere nella progettazione, anche se secondo alcuni viene in qualche modo ratificato il passaggio da una filosofia di progettazione "Safe Life" ad una filosofia "Damage Tolerant" [2].

Progettazione "Safe Life" significa progettare per una durata definita, durante la quale non si prevede che avvenga un danno significativo. Con questo approccio, non si prevede - in sede di progetto - la necessità di ispezioni durante la vita del componente.

L'approccio "Damage Tolerant" nasce storicamente dalla necessità di prolungare la vita dei componenti oltre quella prevista originariamente.

Questo approccio richiede di dimostrare che il danno, e in particolare i difetti, possono essere evidenziati dalle ispezioni prima che riducano la resistenza del componente al di sotto del livello di sicurezza.

L'approccio damage tolerant:

1. Tiene conto della presenza di difetti anche nelle strutture nuove
2. Consente di stabilire in sede di progetto che i componenti siano ispezionabili o meno durante l'esercizio.

Allo scopo di stabilire le procedure di progettazione e i piani ispettivi, occorre quindi conoscere le proprietà dei materiali e definire i meccanismi di danno che possono presentarsi.

Tornando alle procedure di progettazione, alcuni meccanismi di danno sono già presi in considerazione. Altri vanno invece considerati (questa è la novità apportata dalla Direttiva PED) nell'ambito dell'analisi dei rischi. Il mantenimento dei RES (Requisiti Essenziali di Sicurezza) impone in ultima analisi di valutare la vita residua. Le metodologie suggerite dall'API per la valutazione della vita residua dei componenti di impianti industriali permettono di operare in sicurezza in presenza di danno, sia ipotizzando un danno iniziale, sia quando si vogliono mantenere in esercizio i componenti o quando se ne vuole prolungare la vita.

L'applicazione di queste metodologie dal punto di vista della direttiva PED fa parte dell'analisi del rischio.

Nell'analisi dei rischi vanno prese in considerazione le situazioni di pericolo, la probabilità che tali eventi si verifichino, e il rischio loro associato. Devono essere considerati i possibili errori / danneggiamenti che possono avvenire nelle fasi di

- Progetto
- Fabbricazione
- Trasporto
- Esercizio.

Per raggruppare i diversi tipi di danno (al di là dei meccanismi che li causano), può essere utile prendere ad esempio quelli elencati nello Standard API RP 579 (Fitness for Service), e cioè:

- Perdita di spessore generalizzata
- Perdita di spessore localizzata
- Pitting
- Blister e delaminazione
- Cricche
- Creep
- Incendio.

Nella Tabella di seguito, rielaborata dal documento API RP 579, sono riassunti i tipi di danno che possono verificarsi nei materiali metallici, e come se ne tiene conto in due fasi distinte, e cioè per quanto riguarda la progettazione / scelta dei materiali secondo la PED, e per quanto riguarda il mantenimento dei requisiti essenziali di sicurezza (stima della vita residua).

Giovanna Gabetta

Eni Div.E&P - San Donato Milanese

Memoria presentata nell'ambito della Giornata di Studio AIM
"I Materiali metallici nella Direttiva Europea sulle attrezzature in pressione",
Milano 28 ottobre 2003

Meccanismo di danno Osservato o previsto	Per la progettazione / PED	Procedura di verifica per la vita residua
Frattura Fragile (infragilimento del materiale, escludendo la presenza di cricche)	Definire i criteri di accettabilità in termini di: <ul style="list-style-type: none"> • Sollecitazione ammissibile • Fattore di resistenza residua • Diagramma di valutazione difetti 	Determinare la temperatura critica di esposizione (CET) Determinare la temperatura massima accettabile (MAT) Verificare se il componente può rimanere in esercizio
Riduzione di spessore (generale) – Corrosione Erosione	Sovraspessore	Determinare lo spessore minimo che garantisce la stabilità strutturale Calcolo della vita residua tenendo conto della velocità di corrosione Stima della pressione massima ammissibile (ridotta)
Riduzione di spessore locale	Sovraspessore	
Vaiolatura (pitting)	Scelta del materiale / processo	Misurare la densità/dimensione dei pit Determinare la velocità di progressione dei pit Calcolo della vita residua Stima della pressione massima ammissibile (ridotta)
Distacchi (blister) e delaminazione	Scelta del materiale / processo	Misura della densità/dimensione del blister e dei distacchi Calcolo della stabilità strutturale Determinazione di intervalli di ispezione
Disallineamento delle saldature e distorsione delle virole	Controllo delle saldature / qualifica del personale	Vanno riparati (es. con rinforzi) Da verificare se sono associati a: <ul style="list-style-type: none"> - Fatica - Corrosione - Alta temperatura
Difetti acuti (cricche)	Controlli non distruttivi sul componente prima dell'esercizio	Per una verifica completa occorre conoscere: <ul style="list-style-type: none"> - Condizioni di carico - Proprietà del materiale - Caratterizzazione della cricca - Fattori di sicurezza - Stress analisi - Fattore di intensità degli sforzi - Failure Diagram - Leggi di propagazione dei difetti
Utilizzo ad alta temperatura e creep	Proprietà del materiale alla temperatura di esercizio Progettazione associata a durata	Esami microstrutturali e valutazione del livello di danno Calcolo della vita residua

Tabella 1 – Meccanismi di danno.

Table 1 – Damage mechanisms.

In seguito viene presentato un esempio delle tipologie di danno riscontrate in un impianto petrolchimico; vengono poi brevemente descritti i principali meccanismi di danno che possono verificarsi nei materiali metallici utilizzati per i recipienti in pressione.

ESEMPIO - TIPOLOGIA DEL DANNO OSSERVATO IN ESERCIZIO

Dati dal Centro Ricerche di uno stabilimento petrolchimico del Gruppo Eni

Sono stati esaminati 188 bollettini selezionati tra i circa 9000 a disposizione presso il Centro Ricerche, che è stato operativo per circa 30 anni. I bollettini sono stati catalogati in funzione dell'argomento utilizzando una serie di parole-chiave, che indicano in particolare per ogni bollettino esaminato:

- Il componente oggetto dell'intervento
- Il tipo di danno
- Il tipo di test eseguito.

La distribuzione temporale dei bollettini esaminati è riportata in Figura 1.

In Figura 2 (a e b) è indicata la distribuzione percentuale dei componenti esaminati. Va notato che la maggioranza dei problemi si verifica su attrezzature a pressione e su tubazio-

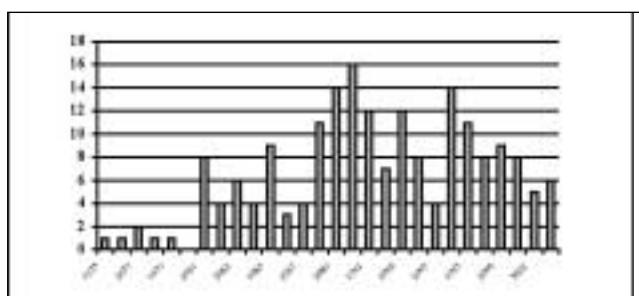


Fig. 1 – Casistica Centro Ricerche. Distribuzione temporale dei bollettini esaminati.

Fig.1 – Case histories from a research Centre. Time distribution of the examined bulletins.

ni (solo meno del 20 % dei casi si riferisce a macchine o altro).

I bollettini si riferiscono a casi di danno evidenziati nel corso delle normali attività di manutenzione. La maggior parte dei problemi vengono evidenziati su forni e caldaie (54% del totale e 68% sul totale dei componenti a pressione).

La tipologia dei danni rilevati è mostrata in Figura 3. La distribuzione è mostrata in percentuale ma va notato che in un

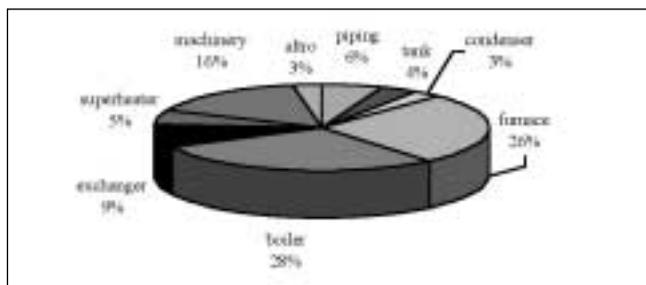


Fig. 2a – Casistica Centro Ricerche. Componenti esaminati.

Fig. 2a – Case histories from a research Centre. Examined components.

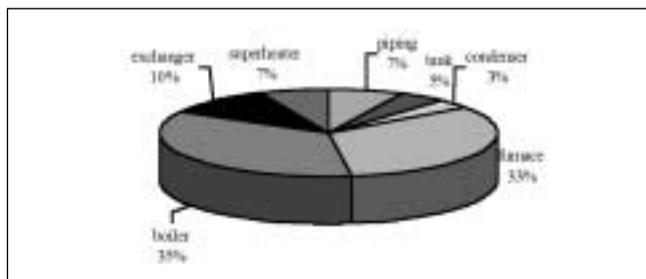


Fig. 2b – Casistica Centro Ricerche. Componenti in pressione esaminati.

Fig. 2b – Case histories from a research Centre. Examined pressure components.

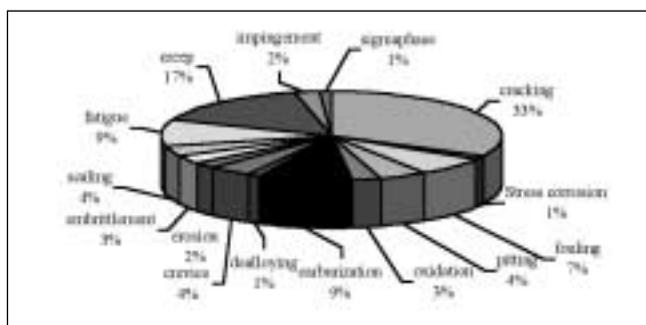


Fig. 3 – Casistica Centro Ricerche. Tipo di danno osservato.

Fig. 3 – Case histories from a research Centre. Observed damage mechanisms.

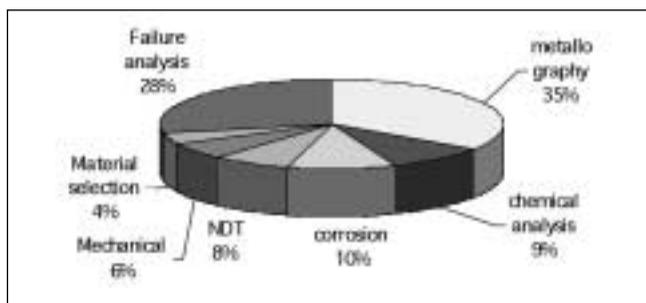


Fig. 4 – Casistica CRE Porto Marghera. Prove svolte.

Fig. 4 – Case histories from a research Centre. Test methods.

singolo bollettino può essere stato rilevato più di un tipo di danno. La distribuzione percentuale quindi indica il peso relativo di ogni singola tipologia sul totale delle tipologie osservate.

La presenza di cricche è il caso più comune (33%). Sono importanti anche il creep, la fatica, alcuni meccanismi di corrosione (stress corrosion, ossidazione, pitting...) e il grado microstrutturale.

In Figura 4 è indicato il peso percentuale dei diversi tipi di analisi e prove svolte. Un singolo bollettino può far riferimento a più di una analisi - su un totale di 188 bollettini sono state segnalate 483 analisi e/o prove, in media 2,57 analisi per ogni caso esaminato.

La maggioranza delle analisi (35% - 167 casi) sono analisi microstrutturali (metallografia su campioni e /o repliche). I casi di failure analysis sono 135, corrispondenti al 28% del totale delle prove eseguite.

Con minore frequenza, ma comunque in quantità significative, vengono richieste prove - o consulenze - nel campo della corrosione (10%), e analisi chimiche (9%). I controlli non distruttivi rappresentano l'8% delle attività. Le prove meccaniche sono soltanto il 4% del totale delle analisi svolte.

TIPOLOGIE DI DANNO

I tipi di danno che possono influenzare la stabilità strutturale e il mantenimento dei Requisiti Essenziali di Sicurezza nelle attrezzature in pressione sono già stati elencati in precedenza e possono essere raggruppati nelle seguenti categorie:

- Perdita di spessore generalizzata
- Perdita di spessore localizzata
- Pitting
- Blister e delaminazione
- Cricche
- Infragilimento.

I principali meccanismi che causano questi tipi di danno possono essere:

- Corrosione
- Erosione
- Fatica
- Danno microstrutturale
- Scorrimento viscoso.

A seconda delle caratteristiche del materiale e dell'ambiente, due o più di questi meccanismi di danno possono agire anche contemporaneamente.

Nel seguito, alcune tipologie - meccanismi vengono brevemente descritti.

Perdita di spessore generalizzata

Questo tipo di danno, che è il più semplice da trattare, in genere è dovuto a corrosione, oppure ad erosione o ad entrambe (corrosione-erosione). La corrosione è definita come un "meccanismo di danno dovuto a reazioni chimiche e/o elettrochimiche che interessano un materiale (solitamente metallico) in contatto con l'ambiente". E' possibile fare una stima della velocità di corrosione (o di corrosione-erosione, o di erosione) per ogni specifica coppia materiale/ambiente attraverso prove di laboratorio (dove per simulare l'ambiente occorre tenere conto di tutte le condizioni chimico-fisiche), con l'avvertenza che negli handbook si possono trovare molti casi già trattati e tabulati.

Una volta in possesso di un dato attendibile per quanto riguarda la velocità attesa di riduzione di spessore, i calcoli di stabilità strutturale sono ben noti. Solitamente in sede di progetto si fa una stima conservativa, che permette poi di prolungare la vita del componente nel caso in cui le misure di spessore effettuate durante le verifiche periodiche siano maggiori di quelle attese.

Perdita di spessore localizzata

Una perdita di spessore localizzata può avvenire con gli stessi meccanismi che causano perdita di spessore generalizzata; le reazioni chimiche e/o elettrochimiche possono essere localmente accelerate e/o complicate da effetti locali di tipo meccanico, come l'erosione, la rottura di film superficiali, l'impatto di fluidi in movimento. Dal punto di vista della progettazione, la perdita di spessore viene trattata comunque

tramite la stima del sovrappessore necessario per restare in sicurezza per la durata di vita prevista. I modelli che vengono utilizzati per il calcolo della legge temporale che descrive la perdita di spessore diventerebbero molto più complicati se si volesse tenere conto delle perdite di spessore localizzate; il dato di progetto può essere corretto in occasione delle ispezioni. La scelta è fra un approccio molto conservativo e la necessità di tenere sotto controllo il componente a tempi ravvicinati.

Pitting

Il pit è una perdita localizzata di materiale che si sviluppa in profondità con una perdita minima o addirittura trascurabile di materiale. In generale il pitting è causato da meccanismi di tipo elettrochimico, cioè in ultima analisi è una forma di corrosione localizzata. Nel caso degli acciai inossidabili, ad esempio, si possono sviluppare pit discreti e profondi, senza che si evidenzino attacco generalizzato tra uno e l'altro dei difetti. Questo tipo di attacco in particolare è difficile da individuare in fase ispettiva, e può diventare passante, causando perdite anche in corrispondenza di una diminuzione di spessore molto ridotta o addirittura trascurabile. I pit possono causare una intensificazione degli sforzi a livello locale, e agire come punti di nucleazione di cricche.

Dal punto di vista della Fitness For Service, in generale si ritiene di conoscere a sufficienza la resistenza a pitting dei materiali per poter intervenire all'atto della scelta. E' noto ad esempio il cosiddetto "Indice di pitting (Pitting Resistance Equivalent Index, PRENI)", che può essere calcolato a partire dalla composizione del materiale:

$$PREN = (\%Cr) + 3.3 (\%Mo) + 16(\%N)$$

Più basso è il valore di questo indice, più il materiale è suscettibile a pitting in ambiente contenente cloruri. E' abbastanza intuitivo sostenere che si tratta di un approccio estremamente semplificato, applicabile solo all'atto della scelta del materiale. Le conoscenze andrebbero approfondite sia per quanto riguarda i meccanismi di formazione e crescita dei pit, sia per lo sviluppo di tecniche ispettive in grado di individuare questi difetti. Un interessante campo di approfondimento è rappresentato dalla trattazione statistica del fenomeno. Va ricordato che il passaggio dall'approccio deterministico "tradizionale" a quello statistico è uno degli aspetti innovativi della analisi dei rischi introdotta dalla Direttiva PED nel campo delle attrezzature in pressione. Alcuni modelli per la stima della probabilità di formazione di pit sono disponibili in letteratura.

Blister e delaminazione

Blister e delaminazione sono in genere fenomeni legati alla diffusione dell'idrogeno nel metallo, e quindi si manifestano soprattutto negli acciai ad alta resistenza (o ad alta durezza). L'idrogeno che causa il danno può essere un prodotto della corrosione acquosa (reazione catodica), o del processo. Può anche essere introdotto nel materiale durante i processi di fabbricazione. Lo zolfo, sia contenuto nel materiale che nell'ambiente di lavoro, gioca un importante ruolo in questo tipo di danneggiamento.

Per quanto riguarda la FFS, oltre a tenere conto dell'infragilimento da idrogeno all'atto della scelta del materiale, si possono applicare trattamenti termici (Post Weld Heat Treatment) che eliminano l'idrogeno causandone la diffusione all'esterno del materiale. Vengono proposte inoltre apposite sonde che permettono il monitoraggio dell'idrogeno che diffonde durante la fase di esercizio. La parte più pericolosa del processo di infragilimento da idrogeno è la formazione e la crescita di cricche.

La diffusione dell'idrogeno è influenzata dalla presenza di sforzi all'interno del materiale; in alcuni casi, le cricche si

presentano in direzione perpendicolare al carico (Stress Oriented Hydrogen Induced Cracking, SOHIC)

Cricche

Le cricche vengono definite come difetti acuti (con angolo all'apice tendente a zero), che causano l'intensificazione del campo di sforzi. Teoricamente, non possono essere trattate tramite l'applicazione di un coefficiente di sicurezza, ma richiedono l'utilizzo della meccanica della frattura.

E' molto difficile dare una descrizione breve ed esauriente allo stesso tempo dei fenomeni di cricatura, che possono essere dovuti a:

- corrosione
- fatica
- fatica oligociclica
- creep
- errori di fabbricazione (fusione, saldatura)
- infragilimento del materiale.

Dal punto di vista applicativo, occorre tenere conto dei limiti di risoluzione dei controlli, e valutare quanto tempo è necessario perché una cricca passi da una dimensione non individuabile, a quella che può essere rivelata con i controlli. In sede di progetto, la resistenza del materiale tiene conto del limite di fatica.

La presenza di cricche nei componenti in pressione non è solitamente trattata in altro modo: in pratica, non si tollera la presenza di cricche che si siano formate durante l'esercizio. Applicando la meccanica della frattura si può prevedere una fase di crescita sottocritica, nel corso della quale il componente può continuare a lavorare in sicurezza.

Agli strumenti e ai metodi analitici della meccanica della frattura e della propagazione per fatica si dovrebbe avere l'accortezza di aggiungere l'effetto ambientale quando è necessario. Non sempre però questi effetti sono quantificabili in termini di velocità di propagazione del difetto, per mancanza di conoscenze sui meccanismi e di modelli adeguati.

Ad esempio, fra i meccanismi di corrosione viene solitamente indicata la tensocorrosione (Stress Corrosion Cracking, SCC) definita come la formazione di cricche causate dall'azione simultanea di un ambiente corrosivo e di un carico di trazione. Anche all'interno di questa definizione, sono stati evidenziati diversi meccanismi - alcuni noti, altri meno chiari - che a loro volta sono stati descritti analiticamente con maggiore o minore successo. In generale, si tratta di cricche che propagano a velocità piuttosto elevata, per cui dal punto di vista della Fitness For Service è opportuno intervenire in sede di progetto (scelta del materiale). La corrosione-fatica è invece compatibile, almeno in alcuni casi, con il mantenimento in servizio dei componenti; sono a disposizione alcuni modelli e/o algoritmi che descrivono analiticamente il fenomeno (legge di Paris), ma molte situazioni non sono ancora state descritte in modo applicabile.

Scorrimento viscoso (creep)

Già in sede di progetto normalmente si tiene conto del creep, che consiste nella deformazione plastica dipendente dal tempo, per tutti i componenti che lavorano ad alta temperatura. Il livello di temperatura al di sopra del quale può avvenire il creep dipende dalle proprietà del materiale.

La rottura per creep avviene quando il materiale subisce un certo livello di deformazione permanente; non si tratta necessariamente di una frattura. La velocità di deformazione per creep dipende da temperatura, tempo e sforzo applicato. Il creep è controllato da processi diffusivi ed è solitamente associato a variazioni ben riconoscibili della microstruttura del metallo. Il processo inizia con deformazioni al bordo grano, seguite man mano da formazione di vuoti che coalescono e danno origine a cricche. Almeno per alcune categorie di materiali esistono metodologie che permettono di correlare la microstruttura con la vita consumata.

I componenti che lavorano in regime di creep sono solitamente molto costosi e giustificano i programmi di estensione di vita che vengono sempre più spesso utilizzati soprattutto nell'industria della generazione di potenza. La previsione di vita a creep è un fattore critico per l'analisi del rischio e per il mantenimento dei requisiti di sicurezza.

Infragilimento

La temperatura di esercizio e lo stato di sforzo permettono di determinare se il materiale è utilizzato al di sopra o al di sotto della transizione duttile-fragile, al di sotto della quale possono verificarsi rotture con un assorbimento di energia relativamente basso.

Anche materiali duttili possono presentare rotture fragili solitamente improvvise; l'origine di queste fratture è quasi sempre un intaglio o un difetto preesistente, di cui non era stata rivelata la presenza durante i controlli di fabbricazione, o di cui non è stato tenuto adeguatamente conto. Tra i fattori che controllano la temperatura di transizione di un acciaio possono essere ricordati la composizione chimica, la procedura di fabbricazione, la saldatura.

Fenomeni di frattura fragile possono verificarsi anche nella fase finale della propagazione di cricche.

Alcuni tipi di infragilimento possono verificarsi in seguito all'invecchiamento del materiale (vedi anche il creep descritto sopra), e dipendono dal degrado della microstruttura in seguito a trattamenti termici o alla permanenza ad alta temperatura. Se ne conoscono almeno otto tipi:

- Infragilimento per deformazione (tipico degli acciai con basso contenuto di carbonio sottoposti a carichi ciclici)
- Infragilimento per tempra (Acciai a basso tenore di carbonio raffreddati velocemente)
- Fragilità da rinvenimento (Acciai legati, dipende dalla composizione e dalla procedura di tempra)
- Infragilimento a 350°C (Acciai basso legati ad alta resistenza)
- Infragilimento a 400-500°C (Acciai inossidabili ad alto cromo e grano fine)
- Infragilimento per fase sigma (Acciai inossidabili ferritici e austenitici per lunghe esposizioni a temperature tra 560 e 980°C)
- Grafitizzazione (Acciai al carbonio e basso legati)
- Infragilimento da composti intermetallici (Acciai con rapporti galvanici).

In aggiunta, si possono elencare almeno quattro meccanismi di infragilimento dovuti all'effetto dell'ambiente, e cioè:

- Infragilimento da neutroni
- Infragilimento da idrogeno
- Tensocorrosione
- Infragilimento da metalli liquidi.

CONSIDERAZIONI ECONOMICHE

Come si può dedurre dalla panoramica esposta – sicuramente molto frettolosa e non esaustiva – i meccanismi di danno che si verificano nei materiali metallici impiegati per le attrezzature a pressione sono moltissimi e correlati tra loro. Alcuni possono essere prevenuti in sede di progetto, altri si verificano nel corso del tempo di esercizio e possono essere evidenziati in occasione delle verifiche periodiche (mantenimento dei requisiti di sicurezza). L'impatto economico dei diversi meccanismi di danno e delle scelte che vengono fatte per prevenirli o contrastarli è molto importante sul bilancio degli impianti industriali, ma spesso non viene quantificato. Un interessante studio sui costi della corrosione, che contiene anche molti dati sulla manutenzione, è disponibile in un sito Web creato ad hoc dal dipartimento del Commercio e Trasporto degli Stati Uniti. In generale, con differenze dovute soprattutto alla metodologia di raccolta dei dati e ai setto-

ri industriali presi in considerazione, il costo della corrosione nei paesi industrializzati è stimato dell'ordine di 1-5% del Prodotto Interno Lordo. In particolare, nell'industria dell'Oil&Gas la corrosione è responsabile di una quota compresa tra il 25% e il 40% delle rotture, come confermato da uno studio della divisione E&P dell'Eni [5].

Un dato interessante per le implicazioni nel caso della Direttiva PED riguarda le verifiche periodiche dei vessel in pressione. Il dato USA, ottenuto dall'esame di una sola raffineria campione, indica che il costo medio delle ispezioni - verifiche di integrità - per i vessel in pressione di una raffineria incide per 0.25\$ su ogni Barile equivalente di prodotto (Boe). La periodicità delle verifiche di integrità negli Usa è per legge ogni 5 anni, mentre in Italia è di 10 anni. Si può quindi prevedere un costo delle verifiche periodiche che incide per circa 0.125\$ (o €) per Boe. Si stima inoltre che il 40% circa del costo della manutenzione sia attribuibile a problematiche di corrosione.

Queste brevi considerazioni ci permettono di evidenziare l'importanza economica di un approccio corretto alla Fitness for Service dei componenti industriali in generale e di quelli in pressione. La scelta delle diverse metodiche per la prevenzione, piuttosto che la conoscenza dei diversi meccanismi di evoluzione del danno di cui è opportuno tenere conto, possono risolversi in un aggravio di spesa oppure in un risparmio di entità non trascurabili. Sono inoltre importanti gli aspetti che riguardano la sicurezza e la salvaguardia dell'ambiente.

LA METODOLOGIA RBI (RISK BASED INSPECTION)

Un metodo che permette di programmare l'attività ispettiva sulla base delle valutazioni di rischio è stato proposto dall'API e attualmente viene applicato in molti siti industriali [6, 7].

Il rischio associato all'esercizio di una generica apparecchiatura a pressione con relativi collegamenti e accessori è, in qualche caso, caratterizzato da una elevata probabilità di accadimento della rottura, in altri casi dalla entità dei danni che la rottura può provocare; più raramente da entrambi i fattori: probabilità, magnitudo.

La metodologia RBI utilizza le tecniche di analisi del rischio per razionalizzare la frequenza e invasività degli interventi ispettivi/manutentivi sulle apparecchiature a pressione. I componenti vengono classificati sulla base del tipo di danno che ci si può attendere, e sulla base del livello di rischio loro associato.

L'applicazione della metodologia RBI rende possibile la ottimizzazione dei programmi ispettivi nel presupposto di dare priorità alla prevenzione delle rotture delle apparecchiature a rischio elevato, le quali sono, in generale, relativamente poco numerose; il risultato è una riduzione del rischio complessivo di impianto o, quanto meno, a parità di rischio, un risparmio nei costi sostenuti per attività ispettive/manutentive.

Attualmente la metodologia viene prevalentemente applicata alle apparecchiature in pressione e relativi accessori. Le pubblicazioni "API Publication 581, Base Resource Document On Risk-Based Inspection" dell'API (American Petroleum Institute) del 1996 e "Risk-Based Methods for Equipment Life Management: An Application Handbook" dell'ASME (American Society of Mechanical Engineers), rappresentano il principale riferimento per una articolata applicazione della metodologia.

In particolare la pubblicazione API è stata sponsorizzata da tutte le grandi compagnie petrolifere/petrochimiche americane, a conferma dell'importanza del tema e della rilevanza dei benefici che l'industria del settore si attende dall'applicazione di questa metodologia innovativa.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

RIFERIMENTI

Nei paragrafi precedenti è stata fatta una breve panoramica dei diversi meccanismi di danno che possono essere individuati nei materiali metallici impiegati per le attrezzature in pressione. Si è cercato di evidenziare soprattutto gli aspetti legati alla direttiva PED, facendo riferimento alla progettazione e alla stima del rischio.

Le leggi con cui il danno evolve possono essere molto diverse a seconda del materiale e dell'ambiente interessati, e del tipo di danno. In qualche caso - generalmente i più semplici - sono note; in molti altri casi no. Esistono metodologie consolidate, spesso empiriche e basate sull'esperienza, per valutare la vita residua di componenti in pressione; esistono inoltre metodi e modelli teorici che permettono di fare valutazioni a posteriori (failure analysis). In questo campo, però, il livello delle conoscenze è spesso insufficiente quando si considera l'applicazione a scenari industriali ben definiti.

I campi ancora aperti per approfondimenti e studi sono diversi. Alcuni esempi sono stati illustrati brevemente. A livello pratico, si ricorda che esistono metodi di razionalizzazione delle ispezioni (Risk Based Inspection), i cui risultati applicativi allo stato attuale possono essere utili ed importanti per la gestione degli impianti industriali.

- [1] DLgs 25 febbraio 2000 n.93: Regolamento di attuazione della direttiva 97/23/CE - PED
- [2] G.Gabetta, 'Assessment of Residual Life on Components Subjected to Environmentally Assisted Cracking', ECF 10, Structural Integrity, Experiments-Models-Applications, K-H Schwalbe, C.Berger Editors, EMAS, 1995
- [3] G.Gabetta e al. "Raccolta di casistica industriale" Proceedings della conferenza Corrosion Italia 2003, Taormina, Giardini Naxos, 30-31 ottobre 2003
- [4] Sito Web "www.corrosioncost.com"
- [5] OMC 95, "Corrosion costs in oil and gas production. The Agip case in Italy", P.Cavassi, D.Condanni (Agip), B.Bazzoni, L.Lazzari (Cescor), Ravenna 15-17 marzo 1995
- [6] R.Smallwood, "Equipment integrity in the new millennium", Nace 2004, paper n°04215
- [7] A.Pinca, "L'Ispezione basata sul rischio", convegno "Sicurezza ed affidabilità delle attrezzature a pressione", Roma, 10-11 giugno 2004

A B S T R A C T

CHANGES IN PROPERTIES, DEFECTS, DAMAGE MECHANISMS, IN THE PRESSURE EQUIPMENT MATERIALS

KEY WORDS:

corrosion, defects, metals, material characterization

The paper gives a short survey of the damage mechanisms more frequently observed in metallic materials used for manufacturing pressure equipments. The new approach of the so-called directive PED (Pressure Equipment Directive 97/23/EC) requires that in the design phase a complete risk analysis is performed. Under some aspects, the design phase can follow a "Damage Tolerant" approach instead of the more traditional "Safe Life" approach.

While some damage mechanisms are taken into account in the design phase, a larger number of them should be considered in the risk analysis; however, procedures to estimate residual life of pressure components are often complex and difficult to apply.

Seven important damage mechanisms were selected following the API Fitness For Service Recommended Practice; for each mechanism a short description is provided, together with possible design approaches and life prediction

procedures. A collection of case histories from a petrochemical plant is also reported, showing the statistical distribution of different kind of damage and their occurrence in the plant components.

For each damage mechanism, simple models are needed to describe the evolution of materials properties, so that materials can be correctly selected and design parameters can be calculated. Such simple models are available only in a few cases; more often, empirical methods and/or experience-based solutions are used. A short description of the most used procedures is provided.

There is a need for further studies and for the proposal of new methods, based on a deeper knowledge of mechanisms and models. The economical implications of corrosion and damage are big enough - something between 1 and 5% of the Gross Internal Product of several developed countries - to justify the effort.

An important example of the correlation between damage detection (inspection) and risk is shown when describing the Risk Based Inspection procedure, which was proposed by API and is now widely applied in refineries and industrial plants.