



ENOS: un programma di calcolo integrato per la valutazione della vita consumata a scorrimento viscoso

C. Delle Site, E. Artenio
Inail Area ex-Ispesl DCC

SOMMARIO. A seguito dell’emanazione della circolare ISPESL n. 48/2003 l’ISPESL ha messo a punto una procedura interna di verifica delle attrezzature a pressione in regime di creep. All’interno di questa procedura si è pensato di sviluppare un software che includesse i passi fondamentali della verifica descritti nella Raccomandazione R5:2005 del CTi. Tale programma di calcolo è denominato ENOS (Creep Assessment of Components). I principali moduli contenuti nel programma e le procedure numeriche in essa implementate sono brevemente descritte in questa memoria.

INTRODUZIONE

Il programma di calcolo ENOS è nato dall’esigenza di tradurre in un software le procedure contenute nella Raccomandazione R5:2005 del CTi e nella linea guida LG/Creep dell’ISPESL (emanata a seguito della Circolare ISPESL n.48/2003). Il programma ENOS contiene peraltro gli aggiornamenti previsti dalla Specifica Tecnica sul Creep in fase di emanazione da parte dell’UNI ai sensi dell’art 3 del DM 329/04. Pur essendo sostanzialmente uno strumento di verifica nelle mani del tecnico che effettua l’esame della documentazione di “ulteriore esercizio”, il programma ENOS contiene degli elementi di originalità, che ne fanno uno strumento destinato anche allo studio ed alla ricerca.

STRUTTURA DEL PROGRAMMA ENOS

ENOS è strutturato in maniera modulare comprendendo varie “routine” per il calcolo. Il primo modulo (ancora in fase di sviluppo) prevede il calcolo della sollecitazione di esercizio, il secondo modulo il calcolo della vita consumata, il terzo modulo la determinazione dell’intervallo di riconrollo, il quarto modulo l’approccio FFS finalizzato a verificare il tempo di ulteriore esercizio, il quinto modulo la verifica di stabilità in presenza di sottospessori ed il sesto modulo la pianificazione dei controlli. In particolare il modulo calcolo prevede tutte le opzioni contemplate dalla R5:2005 (ovvero metodi 1,2 e3).

Tracciamento Master curve e determinazione della vita residua

L’applicativo procede alla definizione della “Master Curve”, in accordo alle prescrizioni della Circolare ISPESL 48/2003, sulla base della quale è possibile successivamente effettuare la valutazione della vita residua delle apparecchiature in esercizio in regime di scorrimento viscoso ad alta temperatura.



La “Master Curve” è una funzione che correla i dati medi di resistenza allo scorrimento viscoso al parametro di Larson Miller (P_{LM}), che viene opportunamente calcolato sulla base di valori di temperatura e tensione per determinati tempi di rottura con la seguente formula:

$$P_{LM}(\sigma) = (\log t + C) \times (T + 273) \tag{1}$$

Dove:

σ = sollecitazione

t = tempo teorico di rottura [h]

T = temperatura [°C]

C = costante di correlazione dipendente dalle proprietà del materiale

I dati utilizzati possono in generale provenire (se disponibili) da sperimentazione diretta, o più comunemente da normative che definiscono le condizioni di fornitura dei materiali o i criteri di fabbricazione, progettazione e controllo delle apparecchiature (ad es. ASME B&PV Code, Raccolta M ecc.).

L'interpolazione viene effettuata per mezzo di una funzione polinomiale nel diagramma $\text{Log}\sigma - P_{LM}$: tale funzione viene appunto definita “Master Curve”.

In Fig. 1 è rappresentata la schermata di ENOS che consente l'inserimento dei dati di progetto e quindi il tracciamento della master curve.

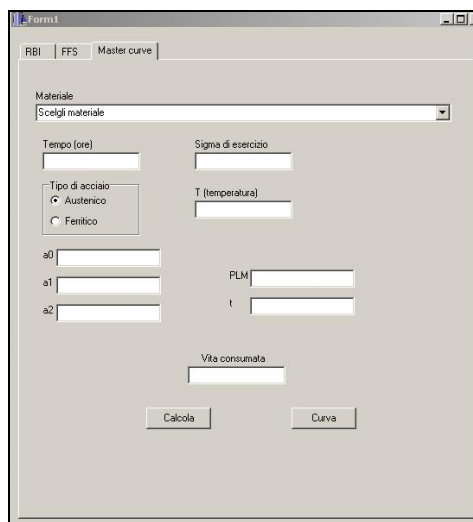


Figura 1: ENOS CODE – inserimento dati Master Curve .

A partire dalla master curve, per ogni singolo materiale, è possibile tracciare la curva di creep, (diagramma della tensione di rottura in funzione del tempo), alla temperatura di test T. Da questa isoterma, in corrispondenza di una determinata tensione σ si può estrapolare il tempo teorico di rottura utilizzando la seguente espressione:

$$t_R = 10 \left[\frac{a_0 + a_1 \cdot \log \frac{\sigma}{0.8} + a_2 \cdot \left(\log \frac{\sigma}{0.8} \right)^2}{T} - C \right] \tag{2}$$

Noto il tempo teorico di rottura (anche detta vita teorica) è possibile calcolare la frazione di vita consumata che non è altro che il rapporto tra le ore di esercizio ed appunto la stima della vita teorica.

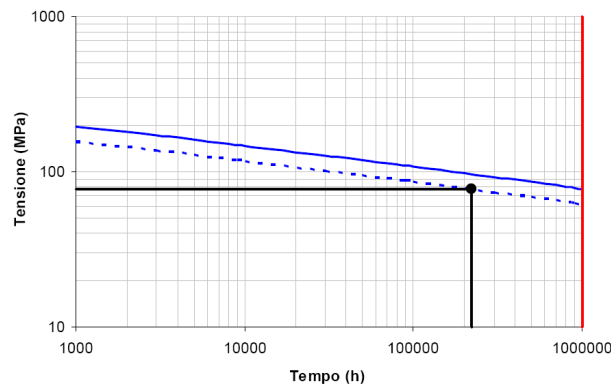


Figura 2: Esempio di una curva di creep e relativa curva minima.

Determinazione del periodo di ulteriore esercibilità sulla base di una procedura RBI

Il calcolo della vita consumata esposto nella sezione precedente, unitamente ad un adeguato piano di controlli non distruttivi, forniscono una serie informazioni sulla base delle quali è possibile effettuare valutazioni circa l'esercibilità di un dato apparecchio in determinate condizioni di esercizio.

ENOS consente di eseguire la determinazione degli intervalli di ricontrollo e quindi il periodo di ulteriore esercibilità di un dato apparecchio, attraverso una procedura basata sul rischio (RBI - Risk Based Inspection).

Il metodo utilizza dei fattori correttivi che applicati al tempo base di riferimento per il creep (50000 ore) determinano il periodo di ulteriore esercizio (Fig. 3).

Il riferimento principale è sempre la procedura riportata nella citata raccomandazione R5:2005.

L'esempio, puramente indicativo, riportato nel paragrafo 4 illustra l'iter logico ed i fattori in gioco nella determinazione del piano di controlli e degli intervalli di ricontrollo.

Figura 3: ENOS CODE – Metodo dei fattori correttivi per intervalli di ricontrollo.

Determinazione del periodo di ulteriore esercibilità sulla base di una procedura FFS

Il metodo (Fig. 4) è finalizzato alla determinazione delle ore di ulteriore esercizio associate ad un livello di rischio accettabile nel caso siano riscontrati difetti di dimensioni note (a , S). Il metodo adottato (solamente orientativo e non



sostitutivo di una completa analisi FFS) fa riferimento alla procedura Fitness for Service contenuta nel documento CTI R5:05 rev. 06 (route b, autore V. Bicego), procedura non adottata nella versione finale del documento.

Questo metodo si applica nel caso in cui si rilevino cricche o le repliche metallografiche individuino cricche da creep livello 4 o 5.

Il parametro da considerare è la crescita percentuale della cricca in un dato intervallo temporale. Tale parametro prende in considerazione la dimensione della cricca, lo spessore del componente e l'intervallo di ricontrollo.

$$PCS = \frac{\dot{a}\Delta t}{S - a} \quad (3)$$

dove:

PCS = Parametro di crescita nello spessore

Δt = intervallo di ricontrollo [h]

S = spessore del componente [m]

a = dimensione della cricca [m]

\dot{a} = velocità di crescita della cricca [m/h]

Figura 4: ENOS CODE – Metodo FFS per intervalli di ricontrollo .

La velocità di crescita della cricca in regime uniforme è espressa in funzione del parametro C* (High Temperature Crack Parameter [2 in bibliografia, come sopra, FITNET CEN WORKSHOP 22; 3 BS 7910]):

$$\dot{a} = A(C^*)^q \quad (4)$$

dove A e q sono costanti per un dato materiale (vedi Tab. 1).

Inizialmente PCS va calcolato per un intervallo di ricontrollo “standard” (es. 50'000 ore).

La classe del difetto (CD) in relazione all'intervallo temporale è dato dalla seguente correlazione:

| | |
|---------------------|--------|
| PCS < 0.002 | CD = 1 |
| 0.002 ≤ PCS < 0.005 | CD = 2 |
| 0.005 ≤ PCS < 0.01 | CD = 3 |
| 0.01 ≤ PCS < 0.03 | CD = 4 |
| 0.03 ≤ PCS < 0.05 | CD = 5 |

Il corrispondente livello di rischio è determinabile dalla Tab. 2.

Una mitigazione del rischio è necessario qualora la tabella mostri alti valori del PIR. In tali casi occorre ridurre l'intervallo di ricontrollo.



Al contrario bassi livelli di rischio permettono di incrementare l'intervallo di ricontrollo.
 La procedura, ripetuta in maniera iterativa, permette di giungere ai valori ottimali dell'intervallo di ricontrollo, corrispondente ad un livello di rischio accettabile in funzione della tipologia della saldatura (rif. R5:2005).
 Occorre sottolineare che, nel caso vengano rilevate cricche da creep, è opportuno incrementare l'efficacia dell'ispezione. Inoltre i giunti saldati dovranno essere controllati con una estensione pari al livello massimo (PEC 5).

| Material | Temperature (°C) | Upper Bound | | Mean | |
|-----------------------------|------------------|-------------|-------|-------|-------|
| | | A | q | A | q |
| Plain C steels | 482 - 538 | 0.015 | 1.0 | 0.006 | 1.0 |
| ½CrMoV, wrought and cast | 500 - 600 | 0.06 | 0.80 | 0.006 | 0.80 |
| ½CrMoV, type IV | 540 - 565 | 0.15 | 0.80 | 0.007 | 0.80 |
| ½CrMoV, coarse HAZ | 565 | 0.30 | 0.80 | 0.10 | 0.80 |
| 1CrMo | 450-600 | 0.02 | 0.84 | 0.006 | 0.84 |
| 1CrMoV | 538 - 594 | 0.015 | 0.75 | 0.005 | 0.79 |
| 2¼Cr1Mo weld metal | 540 - 565 | 0.01 | 0.647 | 0.003 | 0.647 |
| 2¼Cr1Mo | 550 - 600 | 0.006 | 0.80 | 0.004 | 0.83 |
| Type 304 and Type 304H | 650 - 760 | 0.035 | 1.0 | 0.007 | 1.0 |
| Type 304, service exposed | 760 | 0.10 | 0.85 | 0.05 | 0.85 |
| Type 321, wrought | 650 | 0.02 | 0.90 | 0.005 | 0.90 |
| Type 316 and 316H, wrought | 500 - 550 | 0.02 | 0.81 | 0.005 | 0.81 |
| Type 316 weld | 600 - 650 | 0.06 | 0.876 | 0.01 | 0.876 |
| Inconel 800H | 800 | 0.08 | 0.90 | 0.025 | 0.90 |
| In 939 | 850 | 0.20 | 1.0 | 0.04 | 1.0 |
| Modified 9Cr | 580 - 593 | 0.005 | 0.65 | 0.003 | 0.70 |
| Aluminium alloy RR 58 | 150 | 2.5 | 0.85 | 1.5 | 0.85 |
| Aluminium alloy 2519 - T851 | 135 | 0.35 | 0.90 | 0.175 | 0.90 |
| Astroloy API | 700 | 0.124 | 0.78 | 0.05 | 0.79 |

Tabella 1: Costanti nella legge di Creep Crack Growth (CCG). Fonte: FITNET procedure (gennaio 2005).

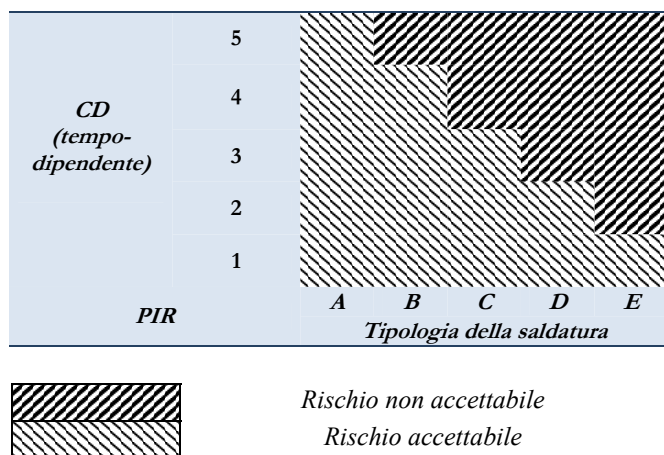


Tabella 2: Matrice di rischio.



ESEMPIO DI APPLICAZIONE DEL PROGRAMMA ENOS

Determinazione della vita consumata

Si prende in esame il caso di un collettore SH facente parte di un impianto per la produzione di vapore caratterizzato dai seguenti dati:

- T = temperatura di esercizio = 590° C
- σ = Tensione d'esercizio 34 MPa
- Materiale = ASTM A335 P22
- Categoria dell'apparecchio (PED) = IV

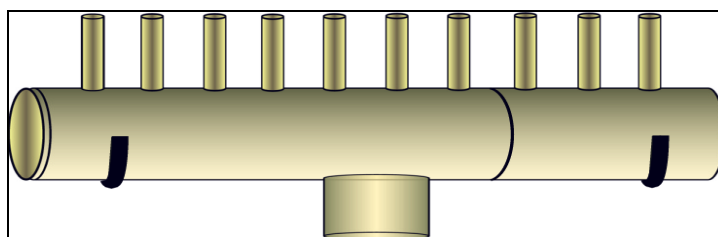


Figura 5: Collettore tipo SH.

Attraverso l'utilizzo di ENOS il tecnico può procedere al calcolo del P_{LM} e quindi proseguire con tracciamento della master curve. Per fare ciò, il programma valuta statisticamente (con il metodo dei quadrati minimi) i parametri a_i del polinomio di grado n-esimo che parametrizza P_{LM} rispetto ai valori $\sigma/100.000h/T$, T, $t=100.000h$:

$$P_{LM}(\sigma) = a_0 + a_1 \log(\sigma) + a_2 \log^2(\sigma) + a_3 \log^3(\sigma)$$

Il P_{LM} per il collettore in esame risulta pari a $P_{LM} = 21,877$ con un conseguente tempo di rottura teorico $t_r = 223.254$ h e conseguentemente una frazione di vita consumata $V_c = 45$ %.

| Input | Value |
|--------------------|---|
| Materiale | ASTM A335 P22 |
| Tempo (ore) | 100000 |
| Sigma di esercizio | 34 |
| Tipo di acciaio | <input checked="" type="radio"/> Austenitico <input type="radio"/> Ferritico |
| T (temperatura) | 590 |
| a0 | 30303,5805886035 |
| a1 | -11636,0588877766 |
| a2 | 6645,61542854788 |
| PLM | 21877,3177112655 |
| t | 223254,386161674 |
| Vita consumata | 0,447919531254 |

Figura 6: ENOS CODE – calcolo frazione vita consumata.



Determinazione dell'estensione dei controlli

Al fine di determinare l'estensione dei controlli in campo si suddivide l'attrezzatura in zone di indagine, in accordo alla Tab. 3.

| Zona | Descrizione qualitativa | Criticità della giunzione |
|------|--|---------------------------|
| A | Saldature di parti non a pressione a parti in pressione | Bassa |
| B | Saldature di piccoli branchetti/penetrazioni ad un fasciame o a un collettore | Medio-bassa |
| C | Saldature di grandi bocchelli/penetrazioni ad un fasciame o a un collettore | Media |
| D | Saldature di composizione e saldature fasciame-fondi di collettori; saldature longitudinali tubazioni o recipienti | Alta |
| E | Saldature longitudinali tubazioni o recipienti | Molto alta |

Tabella 3: Classificazione delle zone di indagine.

L'estensione del controllo per ogni zona di indagine è definita dal parametro PEC (Parametro Estensione Controlli) variabile da 1 a 5 secondo un criterio di severità crescente.

Esso individua l'estensione del singolo controllo non distruttivo da effettuare per ogni zona di indagine (per esempio la percentuale di branchetti da controllare, il numero di repliche da effettuare sulle saldature circolari, ecc.) e tiene in considerazione anche la validità e la dimensione del campione investigato in relazione al danno ricercato.

Il valore del parametro PEC deve essere non inferiore a quello indicato nella Tab. 4, dove i parametri α , β , γ e δ sono funzione della percentuale di vita consumata (vedere Tab. 5).

| Cat. PED | Livello Vita consumata | | | |
|-------------|------------------------|---------|----------|----------|
| | α | β | γ | δ |
| I | 1 | 1 | 2 | 2 |
| II | 1 | 2 | 2 | 3 |
| III | 2 | 2 | 3 | 4 |
| IV | 2 | 3 | 4 | 5 |

Tabella 4: Valori minimi del PEC.

| Livello | α | β | γ | δ |
|----------------------------|----------|-----------|-----------|------------|
| Percentuale vita consumata | 0 ÷ 25% | 25% ÷ 60% | 60% ÷ 90% | 90% ÷ 100% |

Tabella 5: Livello.

Nel caso specifico essendo $V_c=45\%$ ne consegue un livello di vita consumata pari a β e quindi, essendo il collettore classificabile in categoria IV in quanto membratura di un generatore di vapore, il PEC minimo applicabile risulta pari a 3. In termini più specifici ad un PEC pari a 3 corrisponde un piano controlli di livello medio; le percentuali dei controlli non distruttivi sono ricavabili in termini quantitativi dalla Tab. 6.

Esito dei controlli non distruttivi

I controlli eseguiti seguendo lo schema della Tab. 6, in corrispondenza di un PEC = 3, hanno evidenziato un grado di creep pari a 3 (microcavità orientate), solo una saldatura collettore-branchetto, mentre nelle rimanenti zone di indagine, non sono stati riscontrati difetti da scorrimento viscoso.



| Zona di indagine | CND | ESTENSIONE CONTROLLI (PEC) | | | | | |
|--|------------|----------------------------|--|---|---|---|--|
| | | PEC 1 | PEC 2 | PEC 3 | PEC 4 | PEC 5 | |
| A Saldature collettore /parti non in pressione | Base | VT PT (o MT) | 100% 60% | 100% 70% | 100% 80% | 100% 90% | 100% 100% |
| | Aggiuntivi | ST | (?) | (?) | (?) | (?) | (?) |
| B Saldature collettore /branchetti | Base | VT | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | | ST (1) | 1 replica ogni 100 branchetti (limitabile a 4 per l'intero numero dei branchetti) | 1 replica ogni 80 branchetti (limitabile a 5 per l'intero numero dei branchetti) | 1 replica ogni 60 branchetti (limitabile a 6 per l'intero numero dei branchetti) | 1 replica ogni 50 branchetti (limitabile a 8 per l'intero numero dei branchetti) | 1 replica ogni 40 branchetti (limitabile a 10 per l'intero numero dei branchetti) |
| | Aggiuntivi | MT (o PT) ET | 10% (?) | 20% (?) | 30% (?) | 40% (?) | 50% (?) |
| C Saldature collettore /grosse penetrazioni | Base | VT | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | | ST UT | 1 70% | 1 80% | 1 90% | 2 100% | 2 100% |
| | Aggiuntivi | MT (o PT) RT | 70% (?) | 80% (?) | 90% (?) | 100% (?) | 100% (?) |
| D Saldature di composizione o fasciame/fondi | Base | VT | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | | ST(2) UT | 1 80% | 1 90% | 2(4) 100% | 2(4) 100% | 2 100% |
| | Aggiuntivi | MT (o PT) RT | 70% (?) | 80% (?) | 90% (?) | 100% (?) | 100% (?) |
| E Materiale base | Base | VT UTS | 100% (?) | 100% (?) | 100% (?) | 100% (?) | 100% (?) |
| | Aggiuntivi | DM | (?) | (?) | (?) | (?) | (?) |
| Superfici interne | Base | VTE | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |

Note:
 (1) per un numero di branchetti inferiore a quello indicato eseguire almeno una replica
 (2) a discrezione dell'utilizzatore
 (3) vedere appendice A
 (4) limitabile a 1 nel caso di collettori multipli con non più di 3 saldature di composizione
 (5) numero di repliche da effettuare sul componente

Tabella 6: Zone di indagine e relativi controlli.

| Classificazione Grado creep | Life fraction (Ellis) | Life fraction (Sampietri) |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 1 | 0,27 | 0,181 |
| 2 | 0,46 | 0,442 |
| 3 | 0,65 | 0,691 |
| 4 | 0,84 | 0,889 |
| 5 | 1 | 1 |

Tabella 7: Correlazioni Creep -Frazione vita residua

Il grado di danno riscontrato risulta maggiore di quello ipotizzato dalle correlazioni grado di danno/vita consumata di Ellis e di Sampietri come evidenziato dalla Tab. 7.

Determinazione dell'intervallo di ricontrollo

L'intervallo di ricontrollo effettivo, denominato IR, è il valore minimo fra il ΔI calcolato e il 60 % della vita residua del collettore:

$$IR = \min(60 \% V_{residua} ; \Delta I)$$

Il programma assume, in linea con le prescrizioni della norma UNI/TS11325-4 (in via di emanazione), ΔI come il minimo tra gli intervalli relativi a ciascun giunto saldato.

$$\Delta I = \min (\Delta I_{giunto j})$$



Dove a sua volta ciascun intervallo $\Delta I_{giunto j}$ è calcolato, attraverso la procedura RBI, moltiplicando l'intervallo di riferimento $\Delta I_{rif} = 50.000h$ per una serie di coefficienti correttivi f_{ci} :

$$\Delta I_{giunto} = \Delta I_{rif} \prod_i f_{ci}$$

dove f_{ci} è il fattore correttivo i-esimo; di seguito vengono riportati tutti i fattori correttivi, distinti in primari e aggiuntivi (questi ultimi sono facoltativi e vengono utilizzati sulla base di considerazioni fondate sull'esperienza), che inseriti nella routine di ENOS consentono il calcolo istantaneo dell'intervallo di ricontrollo.

Fattori correttivi primary: classe di danneggiamento da scorrimento viscoso e tipo di saldatura

Questo fattore correttivo tiene conto del danno relativo al grado di creep, la cui influenza varia a seconda del tipo di saldatura (vedere Tab. 3), come mostrato dalla tabella sottostante.

| | | | | | | |
|--|----------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Grado di danneggiamento da scorrimento viscoso* | 1 | (1,0) | (1,0) | (1,0) | (1,0) | (1,0) |
| | 2 | (0,8) | (0,7) | (0,6) | (0,5) | (0,4) |
| | 3 | (0,5) | (0,43) | (0,31) | (0,26) | (0,2) |
| | 4 | (0,2) | (0,16) | (0,12) | (0,08) | (0,07) |
| | 5 | - | - | | - | - |
| | | A | B | C | D | E |
| | | Criticità del giunto saldato** | | | | |

Tabella 8 – Fattore correttivo danneggiamento scorrimento viscoso f_{wc}

Fattori correttivi primary: estensione dei controlli

Il PEC (Parametro Estensione Controlli), definito dalla norma UNI 11096, è il parametro che individua l'estensione del singolo controllo non distruttivo da effettuare in ogni zona di indagine ed è varia da 1 (estensione del controllo bassa) a 5 (estensione molto alta) secondo un criterio di severità crescente.

| | | | | |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| 0,8 | 0,95 | 1 | 1,1 | 1,2 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| PEC | | | | |

Tabella 9: Fattore correttivo estensione controlli f_{PEC}

Fattori correttivi primary: monitoraggio in continuo dei parametri operativi (p,t,T)

Il monitoraggio dei parametri operativi è considerato una garanzia di maggiore affidabilità della stima della vita consumata, motivo per cui in presenza di un sistema automatico di controllo il fattore correttivo incrementa l'intervallo di ricontrollo.

| | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1 | 1,2 |
| Senza monitoraggio | Con monitoraggio |

Tabella 10: Fattore correttivo monitoraggio f_{cm} .

Fattori correttivi aggiuntivi: affidabilità della previsione di vita

Questo fattore va considerato quando non vi sia coerenza tra i risultati dei calcoli teorici e quelli dei controlli.

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| 0,9 | 1 |
| Previsione non affidabile | Previsione affidabile |

Tabella 11: Fattore correttivo previsione f_{ca} .

Fattori correttivi aggiuntivi: vita consumata

Il fattore vita consumata ha influenza sull'intervallo di ricontrollo solo quando risulta prossima al 100 %



| | |
|------------------|---------------|
| 0,9 | 1 |
| VC>90% | VC≤90% |

Tabella 12 – Fattore correttivo vita consumata f_{cv}

Fattori correttivi aggiuntivi: classe di rischio dell'apparecchio

Consente l'estensione dell'intervallo di ricontrollo solo per apparecchiature la cui classe di appartenenza sia inferiore alla IV.

| | |
|------------------|--------------------------|
| 1 | 1,1 |
| Classe IV | Classe I, II, III |

Tabella 13: Fattore correttivo classe di rischio f_{cc} .

Fattori correttivi aggiuntivi: ore di esercizio

Questo fattore correttivo riduce l'intervallo di ricontrollo per apparecchiature con un esercizio superiore alle 350.000 h, non rientra quindi nel caso proposto:

| | |
|--------------------------|-----------------------|
| 0,95 | 1 |
| OE>350.000 ore | OE≤350.000 ore |

Tabella 14: Fattore correttivo ore d'esercizio f_{ce} .

Fattori correttivi aggiuntivi: proprietà del materiale

Il fattore correttivo è da considerare quando non sono note le caratteristiche a scorrimento viscoso del materiale, ed è quindi equiparato ad un materiale dalle caratteristiche note.

| | |
|---|--|
| 0,95 | 1 |
| Materiale di proprietà a scorrimento viscoso non note ed equiparate ad altro materiale | Materiale di proprietà a scorrimento viscoso tabulate |

Tabella 15: Fattore correttivo proprietà materiale f_{cp} .

Fattori correttivi aggiuntivi: stabilità della previsione

Qualora il grado di danno rilevato non mostri fenomeni evolutivi rispetto all'intervallo precedente, allora è possibile utilizzare tale fattore per estendere l'intervallo di ricontrollo.

| | |
|---|---|
| 1 | 1,1 |
| Se il danno mostra evoluzione rispetto all'intervallo precedente | Se il grado di danno non mostra mutamenti rispetto all'intervallo precedente |

Tabella 16: Fattore correttivo stabilità previsione f_{cprev} .

Calcolo degli intervalli di ricontrollo

Nell'esempio proposto, l'intervallo di ricontrollo valutato in corrispondenza del giunto più critico (grado di creep pari a 3), è pari a:

$$\Delta I_{giunto} = \Delta I_{rif} \prod_i f_{ci} = 50000 \cdot f_{cv} \cdot f_{PEC} \cdot f_{cprev} = 50000 \cdot 0,43 \cdot 1 \cdot 1,1 = 23650h$$

E' evidente che la medesima procedura applicata alle altre zone di indagine, porterebbe ad intervalli di controllo meno restrittivi essendo f_{cv} il parametro correttivo più rilevante ai fini del calcolo.

L'intervallo di ricontrollo effettivo sarà allora:

$$IR = \min(60 \% V_{residua} ; \Delta I) = \min[(123254 \cdot 0,6) ; 23650] = 23650 h.$$



ENOS esegue istantaneamente il calcolo, semplicemente inserendo nell'apposita routine, tutte le indicazioni relative ai diversi fattori correttivi.

The screenshot shows a software window titled 'Form1' with a tabbed interface. The active tab is 'RBI'. Below the tabs, there are several sections of input fields:

- Procedura RBI (metodo dei fattori correttivi)**
- Classe del danneggiamento da creep e tipo di saldatura
- Grado creep: 3
- Tipo di saldatura: B
- Coefficiente correttivo categoria ispezione: 3
- Coefficiente correttivo affidabilità della previsione di vita: Previsione affidabile
- Coefficiente correttivo monitoraggio in continua dei parametri operativi (p.t): Senza monitoraggio
- Coefficiente correttivo vita consumata: VC=90%
- Coefficiente correttivo classe di rischio apparecchio (Cat. I-IV): Classe IV
- Coefficiente correttivo ore di esercizio: OE <= 350000 ore
- Coefficiente correttivo proprietà materiale: Materiale di proprietà a creep tabulati
- Coefficiente correttivo stabilità della previsione: Se il danno non mostra mutamenti rispetto all'intervallo precedente
- Delta t rif: 50000
- VR: 123254
- Delta t: 23650
- Calcola button
- Output field: 23650

Figura 7 ENOS CODE - calcolo dell'intervallo di ricontrollo

CONCLUSIONI

ENOS costituisce un programma di calcolo di estrema semplicità per effettuare le valutazioni di vita consumata di attrezzature a pressione soggette a scorrimento viscoso, richieste dalla circolare ISPESL n.48/2003. Nella sua più recente versione esso è in linea con le modifiche introdotte dalla Specifica Tecnica di cui all'art.3 del DM 329/04. Il software effettua la determinazione dell'intervallo di ricontrollo utilizzando una metodologia basata sul rischio, sia nel caso di creep incipiente, che in presenza di cricche. In quest'ultimo caso la procedura è di tipo semplificato, non sostitutiva di una completa analisi Fitness-for-Service.

Si prevede di implementare ulteriormente il software per renderlo maggiormente funzionale alle esigenze dell'utente che esegue le valutazioni di Life-extension.

BIBLIOGRAFIA

- [1] R. E. Kessler, In: EPRI Conference on Advances in Life Assessment and Optimization of Fossil Power Plants, Orlando, Florida, (2002).
- [2] R. K. Singh Raman, In: EPRI Conference on Advances in Life Assessment and Optimization of Fossil Power Plants, Orlando, Florida, (2002).
- [3] L. D. Nottingham, H. E. Queen, In: EPRI Conference on Advances in Life Assessment and Optimization of Fossil Power Plants, Orlando, Florida, (2002).
- [4] L. Bisbee, In: Conferenza Nazionale sulle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica, Milano, (2005).
- [5] M. Tilley, In: EPRI Conference on Advances in Life Assessment and Optimization of Fossil Power Plants, Orlando, Florida, (2002).



- [6] K. Penny, W. Kohlhöfer, In: ECCC Creep Conference, London, (2005).
- [7] R. Hurst, C. Stratford, V. Bicego, In: ECCC Creep Conference, London (2005).
- [8] H. Hulstof, P. Welberg, In: ECCC Creep Conference, London, (2005).
- [9] R. Viswanathan, In: EPRI Conference on Advances in Life Assessment and Optimization of Fossil Power Plants, Orlando, Florida, (2002).
- [10] C. Fossati, C. Sampietri, In: Convegno sulla vita residua di componenti funzionanti in regime di scorrimento viscoso, 21-22 giugno.
- [11] ECCC Recommendations 2005, European Creep Collaborative Committee.
- [12] G. Muravin, B. Muravin, D. Ezra, In: EPRI Conference on Advances in Life Assessment and Optimization of Fossil Power Plants, Orlando, Florida, (2002).
- [13] L. M. Rogers, Structural and Engineering Monitoring by Acoustic Emission Methods – Fundamental and Applications, Lloyd's Register, (2001).
- [14] SAFAP 2010 - Sicurezza ed affidabilità delle attrezzature a pressione, (2010).