

# **METODOLOGIA BASATA SUL RISCHIO PER LA DETERMINAZIONE DEL PIANO ISPETTIVO DEI CONTROLLI DA EFFETTUARSI SU ATTREZZATURE IN PRESSIONE OPERANTI IN REGIME DI SCORRIMENTO VISCOSO**

C. Delle Site, F. Di Tosto, E. Franchi

*ISPESL – Dipartimento Centrale Omologazione e Certificazione  
Via Alessandria 220/E – Roma*

## **ABSTRACT**

The determination of reinspection intervals of pressure components working at high temperature and under creep load is affected by a large number of uncertainties. One of the most important factor that can be taken into account for the determination of reinspection intervals is the residual life, which can be evaluated by calculation or experience. Another important information is given by the result of metallographic replicas which can detect the level of creep damage. Moreover useful information on defects of nature other than creep such as corrosion, fatigue, erosion etc. come from the results of NDT examinations.

All these information, combined with risk assessment related to the specific component, can help the designer and the inspector to determine the reinspection intervals which allow a safe operation of the component.

A research on this subject has been carried out by ISPESL - the Italian Authority in charge of the safe operation of pressure vessels and boilers - and has brought to interesting results.

The Authors propose a new risk-based method for the determination of reinspection intervals based on ISPESL experience on this field. This method has been tested using ISPESL database on plant working under creep load giving interesting results for practical application and encouraging further research in this direction.

## **SOMMARIO**

La determinazione dell'intervallo temporale di ricontrollo dei componenti in pressione che lavorano ad alte temperature ed operanti in regime di scorrimento viscoso è caratterizzata da un gran numero di parametri incerti.

La circolare ISPESL n° 15/92 prevede per i componenti suddetti eserciti oltre le 100000 ore un metodo di valutazione complessivo basato sull'interazione tra i risultati dell'analisi teorica effettuata secondo Larson-Miller e l'esito di CND.

Attualmente l'intervallo temporale di ricontrollo viene determinato sulla base del grado di danneggiamento riscontrato sul materiale e sulle indicazioni fornite dal progettista.

Quando la vita consumata raggiunge il 100% o il grado di danneggiamento per scorrimento viscoso è pari al livello "D" di Neubauer, il componente viene messo fuori servizio.

Fin dal 1994 il Dipartimento Centrale Omologazione e Certificazione, nell'ambito dell'attività di riomologazione di apparecchi con oltre 100000 ore di esercizio, ha effettuato studi statistici sul danneggiamento da scorrimento viscoso riscontrato sugli apparecchi esaminati.

Ciò ha consentito la messa a punto di un database contenente precise informazioni riguardanti il tipo, la natura, la posizione e le dimensioni dei difetti riscontrati nelle diverse tipologie di apparecchi (preriscaldatori, scambiatori di calore, surriscaldatori, reattori chimici, tubi di forni ecc.).

Sulla base di tali informazioni, gli autori propongono un nuovo metodo basato sulla costruzione di matrici di rischio per la determinazione del piano di controlli da effettuare dopo 100'000 ore di esercizio e per la determinazione dell'intervallo di ricontrollo successivo.

La procedura proposta è il primo passo per implementare un metodo attendibile che semplifichi la politica decisionale dell'Ente preposto in merito all'autorizzazione di ulteriore esercibilità.

## **INTRODUZIONE**

L'esperienza maturata dal Dipartimento Centrale Omologazione e Certificazione dell'ISPESL, nell'ambito dell'attività di riomologazione di apparecchi con oltre 100000 ore di esercizio, ha mostrato che la determinazione dell'intervallo temporale di ricontrollo dei componenti in pressione che lavorano ad alte temperature ed operanti in regime di scorrimento viscoso è caratterizzata da un gran numero di parametri incerti. La circolare ISPESL n° 15/92 prevede per i componenti suddetti eserciti oltre le 100000 ore un metodo di valutazione complessivo basato sull'interazione tra i risultati dell'analisi teorica effettuata secondo Larson-Miller e l'esito di CND. Attualmente l'intervallo temporale di ricontrollo viene determinato sulla base del grado di danneggiamento riscontrato sul materiale e sulle indicazioni fornite dal progettista.

Quando la vita consumata raggiunge il 100% o il grado di danneggiamento per scorrimento viscoso è pari al livello "D" di Neubauer, il componente viene messo fuori servizio.

Inoltre la determinazione del piano dei controlli da effettuare in occasione del raggiungimento delle 100'000 ore (soglia limite temporale oltre la quale occorre prevedere un ri-omologazione dell'apparecchio) è spesso effettuata secondo criteri non codificati ed aleatori, variabili da impianto a impianto.

I criteri fino ad ora impiegati per la determinazione dell'intervallo temporale di ricontrollo e del piano dei controlli non prendono in esame in alcun modo considerazioni basate sul rischio connesso all'esercizio del componente specifico, oltre ad essere "non ripetibili" non esistendo a tutt'oggi in Italia una norma o linea guida che regolamenti in maniera dettagliata l'argomento.

L'ISPESL ha messo a punto un database contenente precise informazioni riguardanti il tipo, la natura, la posizione e le dimensioni dei difetti riscontrati nelle diverse tipologie di apparecchi (preriscaldatori, scambiatori di calore, surriscaldatori, reattori chimici, tubi di forni ecc.). Sulla base di tali informazioni, gli autori propongono un nuovo metodo basato sulla costruzione di matrici di rischio per la determinazione del piano di controlli da effettuare dopo 100'000 ore di esercizio e per la determinazione dell'intervallo di ricontrollo successivo.

La procedura proposta è il primo passo per implementare un metodo attendibile che semplifichi la politica decisionale dell'Ente preposto in merito all'autorizzazione di ulteriore esercibilità.

## **1. Determinazione del piano dei controlli**

### ***1.1 Individuazione dei componenti operanti in regime di creep***

Il primo passo consiste nell'individuazione dei componenti soggetti a scorrimento viscoso, la circolare 15/92 dell'ISPESL definisce componenti in regime di creep quelli dimensionati in fase di progetto con valori di resistenza associati a durata.

E' quindi necessario individuare la temperatura di soglia per lo scorrimento viscoso per chiarire in modo univoco se il componente sia o meno in regime di creep .

La temperatura di soglia per un dato componente è il valore da esso assunto quando si verifica che il carico di rottura a 100000 ore diventa inferiore al carico di snervamento.

Per alcuni materiali, queste caratteristiche sono tabulate quindi, il valore della temperatura di soglia viene determinato per via grafica come punto di intersezione tra la curva  $\sigma_r/100000/t$  e  $R_{p(0,2)}/t$

Solitamente i componenti operanti in regime di scorrimento viscoso risultano essere per i **generatori di vapore**

- collettori uscita risurriscaldatori
- collettori uscita surriscaldatori
- desurriscaldatore
- tubi di collegamento

per i **forni**

- tubi zona radiante
- tubi zona convettiva

per i **reattori**

- zone di alta temperatura del fasciame
- bocchelli di alta temperatura

### ***1.2 Individuazione dei componenti rilevanti ai fini di sicurezza***

Il secondo passo consiste nell'individuare i componenti soggetti a creep che hanno rilevanza ai fini della sicurezza. Ciò è compito del Progettista Abilitato che nell'ambito delle sue attribuzioni effettua l'analisi del rischio intrinseco prendendo in considerazione in particolar modo i rischi connessi con la temperatura ed il fluido contenuto. L'attuale procedura tecnica prevede, a scopo precauzionale, che vengano tenuti in considerazione, per l'eventuale esclusione dalle verifiche di legge, esclusivamente i componenti esposti alla fiamma. In una più recente proposta di rilettura della Circolare ISPESL 15/92 si chiariscono meglio i contorni delle categorie di componenti da poter trascurare nelle verifiche e controlli alla luce di una loro oggettiva minor pericolosità: tubi di scambio termico di generatori all'interno della camera di combustione e fasci tubieri di scambiatori di calore.

### ***1.3 Calcolo della vita spesa preliminare***

Il terzo passo consiste nell'effettuazione di un calcolo preliminare del consumo di vita per scorrimento viscoso basato su valori effettivi di esercizio (pressioni, temperature, tempi) e spessori nominali di progetto. Questo calcolo valuta l'effetto del danneggiamento incipiente da creep e presuppone l'assenza di difettologia

imputabile allo stesso scorrimento viscoso. In tal caso infatti occorrerebbe prevedere un calcolo più accurato di Creep Crack Growth che esula dai contorni attuali della regolamentazione italiana vigente.

#### 1.4 Determinazione dei livelli di vita spesa : $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$

La percentuale di vita viene quindi suddivisa in quattro range temporali a ciascuno dei quali è associato un livello.

In particolare ad una percentuale di vita spesa compresa tra lo 0 e il 25% è associato il livello  $\alpha$ , ad una percentuale compresa tra il 25% ed il 50% è associato il livello  $\beta$ , per una percentuale compresa tra il 50% e il 75% si ha il livello  $\gamma$  e infine per una percentuale maggiore del 75% ma inferiore al 100% è associato il livello  $\delta$ .

Quindi, una volta calcolata la percentuale di vita spesa del componente, si determina il livello ad essa associato secondo quanto riportato nella tabella sottostante :

<i>Livello</i>	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$
<i>Percentuale vita spesa</i>	0 ÷ 25%	25% ÷ 50%	50% ÷ 75%	>75%, <100%

#### 1.5 Parametro di estensione dei controlli (PEC)

Per definire l'estensione dei controlli non distruttivi in fase di piano controlli occorre definire un parametro *basato sul rischio* funzione delle seguenti grandezze significative:

- categoria di rischio definita dalla direttiva 97/23/CE (PED); le attrezzature a pressione, in base all'allegato II della suddetta direttiva, sono suddivise in categorie secondo criteri di rischio crescente (I, II, III, IV)
- livello associato alla percentuale di vita spesa, come definito nel paragrafo precedente ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ )
- grado di pericolosità della saldatura: basso (A), medio-alto (B), alto (C).  
Per quanto riguarda i generatori si è attribuito, in base alle osservazioni riscontrate, un grado di pericolosità basso alle saldature fra collettore e tronchetti per serpentini, un grado medio-alto alle saldature fra collettore e grosse penetrazioni per tubi di collegamento ed infine un grado di pericolosità alto alle saldature circolari di composizione di collettori o tubazioni.

Limitandoci, a scopo esemplificativo, al caso dei generatori di vapore è possibile individuare il valore del PEC in funzione del livello di vita spesa e della categoria di rischio in tre tabelle, ciascuna per ogni tipo di saldatura (tabella 1, 2 e 3).

<b>A</b>	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$
<b>I</b>	1	2	3	4
<b>II</b>	5	6	7	8
<b>III</b>	9	10	11	12
<b>IV</b>	13	14	15	16

Tabella 1: Valori del Parametro di estensione controlli PEC (saldature grado A)

<b>B</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\beta</math></b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\delta</math></b>
<b>I</b>	17	18	19	20
<b>II</b>	21	22	23	24
<b>III</b>	25	26	27	28
<b>IV</b>	29	30	31	32

Tabella 2: Valori del Parametro di estensione controlli PEC (saldature grado B)

<b>C</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\beta</math></b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\delta</math></b>
<b>I</b>	33	34	35	36
<b>II</b>	37	38	39	40
<b>III</b>	41	42	43	44
<b>IV</b>	45	46	47	48

Tabella 3: Valori del Parametro di estensione controlli PEC (saldature grado C)

### ***1.6 Piano dei controlli***

A ciascun valore del PEC (1-48) viene associata una determinata estensione dei CND. A scopo esemplificativo viene riportata in tabella 4 una possibile schematizzazione per alcuni valori del PEC.

<b><i>PEC</i></b>	<b><i>RToUT</i></b>	<b><i>PT oMT</i></b>	<b><i>UTS</i></b>	<b><i>ST</i></b>
1	5%	5%	5%	<i>1 ogni 10 saldature (min 2)</i>
12	10%	10%	10%	<i>1 ogni 7 saldature (min 2)</i>
24	15%	15%	15%	<i>1 ogni 5 saldature (min 2)</i>
36	30%	30%	30%	<i>1 ogni 3 saldature (min 2)</i>
48	60%	60%	60%	<i>1 per ogni saldatura</i>

Tabella 4: controlli non distruttivi in funzione del PEC

UT ultrasuoni  
RT radiografie  
PT liquidi penetranti

MT controlli magnetoscopici  
UTS ultrasuoni spessimetrici  
ST repliche

## **2. Determinazione intervalli di ricontrollo**

I controlli non distruttivi eseguiti sul componente in accordo a quanto descritto al punto precedente permettono di stimare il suo stato di vita e di stabilirne l'idoneità al servizio nel rispetto dei requisiti di sicurezza. Sono quindi un indicatore fondamentale nella pratica di life-assessment e in base al loro esito è possibile definire, come appreso indicato, gli intervalli temporali di ricontrollo.

## **2.1 Esito dei controlli non distruttivi**

I controlli non distruttivi possono evidenziare la presenza o meno di difetti. E' ovvio che ad un componente integro e completamente esente da difetti corrisponde una soglia di attenzione bassa, ovvero un ampio intervallo di ricontrollo. Soffermiamoci quindi al caso più problematico, ovvero quello di un componente con difetti di tipo volumetrico o superficiale.

### **2.1.1 Difetti volumetrici**

Dall'esperienza acquisita negli anni si è riscontrato che i difetti di tipo volumetrico sono molto rari e comunque nella maggior parte dei casi sono nei limiti di accettabilità della normativa vigente (es. Raccolta S). E' chiaro comunque che, qualora riscontrati difetti oltre il limite di accettabilità, occorrerà scavare fino al difetto e procedere ad una riparazione del giunto saldato. In questo caso, per quanto riguarda le azioni da intraprendere e gli intervalli di ricontrollo, varranno le stesse considerazioni illustrate di seguito per i difetti superficiali significativi.

### **2.1.2 Difetti superficiali**

Iniziamo col chiarire cosa si intende per difetti superficiali significativi. Dicesi significativi quelle indicazioni superficiali (cricche) aventi una profondità superiore ad una profondità limite definita per ogni grado di pericolosità della saldatura (A, B e C). Si ammette cioè che per profondità inferiori a quella limite definita in tabella 5 il difetto sia intrinsecamente "non pericoloso" e quindi trascurabile.

	<b>Grado A</b>	<b>Grado B</b>	<b>Grado C</b>
<b>Profondità limite</b>	<b>2 mm</b>	<b>2 mm</b>	<b>1 mm</b>

Tabella 5: Profondità limite per difetti significativi

#### **2.1.2.1 Repliche metallografiche**

Dopo aver rilevato la presenza di difetti superficiali, si dovrà procedere all'esecuzione di repliche dopo aver molato fino alla profondità limite. Se il difetto è significativo, la replica dovrà comprendere l'apice del difetto stesso. Se c'è assenza di microcavità o una loro localizzazione solo all'apice del difetto si presume che la replica possa essere classificata di grado 1 secondo il criterio di Neubauer. La locale presenza di creep terziario non significa che il materiale abbia esaurito la propria vita ma che la concentrazione di tensione crea condizioni critiche per il creep; l'asportazione del difetto elimina la possibilità di crescita ulteriore.

#### **2.1.3 Riparazione del difetto**

Nel caso in cui la replica all'apice del difetto sia di grado non elevato, allora il difetto può essere riparato localmente mediante riempimento dello scavo eseguito per eliminare il difetto, secondo un procedimento di saldatura approvato.

Quando la saldatura presenta fenomeni di creep diffuso si deve procedere ad una riparazione generalizzata della saldatura a 360 gradi con rimozione della ZTA e successivo trattamento termico di distensione. Nei casi più gravi si deve procedere

invece alla sostituzione del componente. Tali interventi devono essere eseguiti tempestivamente ammettendo però, per i gradi di creep meno evoluti, una tolleranza funzione della gravità del difetto stesso.

#### 2.1.4 Intervalli di ricontrollo

Dopo aver eseguito l'intervento di riparazione parziale o totale della saldatura si devono individuare gli intervalli di ricontrollo del componente. A tale scopo, sulla base di osservazioni in campo, è stata messa a punto la seguente metodologia schematizzata nelle tabelle 6, 7 e 8 per definire un parametro indicativo del rischio associato all'esercizio del componente (PIR). Ciascuna tabella relativa al solo caso dei generatori di vapore fa riferimento ad uno specifico grado di pericolosità della saldatura (grado A, B o C) in conformità a quanto detto precedentemente. Nei criteri entrano in gioco, oltre il tipo di saldatura e il grado delle repliche metallografiche, anche il numero di difetti significativi (aventi come già detto profondità superiore a quella limite).

Si è ritenuto opportuno trascurare come variabile aggiuntiva la dimensione del difetto perché la saldatura è oggetto di riparazione e quindi è garantita comunque la stabilità del componente.

Grado delle repliche	Numero dei difetti Significativi	
	≤ 2	> 2
1	1	2
2	3	4
3	5	6
4	7	8
5	9	10

Tabella 6: Parametro indicativo del rischio (PIR) per saldature di grado A

Grado delle repliche	Numero dei difetti Significativi	
	Nessuno	≥ 1
1	11	12
2	13	14
3	15	16
4	17	18
5	19	20

Tabella 7: Parametro indicativo del rischio (PIR) per saldature di grado B

Grado delle repliche	Numero dei difetti Significativi	
	Nessuno	≥ 1
1	21	22
2	23	24
3	25	26
4	27	28
5	29	30

Tabella 8: Parametro indicativo del rischio (PIR) per saldature di grado C

La corrispondenza fra il parametro indicativo del rischio e le ore di ulteriore esercizio prima del ricontrollo viene definita mediante la reale esperienza maturata in campo e alle informazioni del database difettologico dell'ISPESL (esempi in tabella 9, 10 e 11).

<i>Parametro indicativo del rischio (PIR)</i>	<i>Intervallo di Ricontrollo (ore)</i>
1	50'000
2	50'000
3	50'000
4	40'000
5	30'000
6	25'000
7	20'000
8	15'000
9	10'000
10	Controllo semestrale o Rifacimento saldatura entro 8'000

Tabella 9: Intervalli di ricontrollo per saldature di grado A

<i>Parametro indicativo del rischio (PIR)</i>	<i>Intervallo di Ricontrollo (ore)</i>
11	50'000
12	50'000
13	40'000
14	30'000
15	20'000
16	15'000
17	10'000
18	6'000
19	Rifacimento saldatura entro 4'000
20	Rifacimento immediato saldatura

Tabella 10: Intervalli di ricontrollo per saldature di grado B

<i>Parametro indicativo del rischio (PIR)</i>	<i>Intervallo di Ricontrollo (ore)</i>
21	50'000
22	50'000
23	30'000
24	25'000
25	15'000
26	12'000
27	6'000
28	4'000
29	Rifacimento immediato saldatura
30	Rifacimento immediato saldatura

Tabella 11: Intervalli di ricontrollo per saldature di grado C



### 3. CONCLUSIONI

Sulla base di informazioni riguardanti il tipo, la natura, la posizione e le dimensioni dei difetti riscontrati nelle diverse tipologie di apparecchi (preriscaldatori, scambiatori di calore, surriscaldatori, reattori chimici, tubi di forni ecc.), gli autori hanno proposto un nuovo metodo basato sulla costruzione di matrici di rischio per la determinazione del piano di controlli da effettuare dopo 100'000 ore di esercizio e per la determinazione dell'intervallo di ricontrollo successivo.

La procedura proposta, i cui esempi numerici sono riportati a solo scopo esemplificativo) è un importante passo per implementare un metodo attendibile che semplifichi la politica decisionale dell'Ente preposto in merito all'autorizzazione di ulteriore esercibilità.

### 4. BIBLIOGRAFIA

1. Circolare ISPESL n. 15/92 del 27.2.92
2. C. Delle Site, *"Il calcolo di vita consumata per scorrimento viscoso: confronto tra metodologie"*, Documento CTI/SV/1, Comitato Termotecnico Italiano - SC3 - Gruppo di Lavoro "Scorrimento Viscoso", 8.10.99
3. A. Addabbo, E.M. Carducci, C. Delle Site, P. del Prete, A. Tonti, *"Affidabilità dei generatori di vapore operante in regime di scorrimento viscoso"*, 49° Congresso Nazionale ATI, 26-30 Settembre 1994, Perugia.
4. Neubauer B.; Arens-Fisher F.; *"Restfile Estimation of Power Plant Component under Creep Load"*; VGB Congress "Power Plants 1982"; sept 14-17 1982 Mannheim
5. F. Peri, S. Scanalino, *"L'ispezione in servizio di viadotti metallici: principi ed esperienze"*, Convegno "Esame visivo nei controlli in servizio", Milano, 6.12.2000
6. A. Addabbo, E.M. Carducci, C. Delle Site, P. del Prete, A. Tonti, *"Italian Scenario of High Temperature Plant Life Assessment: the Authority experience"*, International Symposium on Material Ageing and Component Life Extension, Milano 10-13 October 1995.
7. M. Moretti, *"Componenti in regime di scorrimento viscoso: criteri di valutazione delle saldature."* Documento Ansaldo B-0856 del 30/10/1995.