

LA GESTIONE DEL RISCHIO NEGLI APPARECCHI/IMPIANTI A PRESSIONE ALLA LUCE DELLE DIRETTIVE 97/23/CE (PED) E 96/82/CE (SEVESO II)

V. Mazzocchi, F. Di Tosto, C. Delle Site

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

SOMMARIO

Per gli apparecchi a pressione che lavorano ad alte temperature ed operanti in regime di scorrimento viscoso è possibile, impiegando la tecnica RBI (Ispezione Basata sul Rischio), identificare in maniera sistematica e ripetibile le priorità di intervento e definire il programma di ispezione dell'impianto, nel pieno rispetto delle nuove Direttive europee sugli apparecchi a pressione.

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 [1].

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

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, e in un'ottica più ampia può essere considerata come una procedura di base per una gestione in sicurezza degli impianti industriali con componenti in regime di creep.

INTRODUZIONE

In base all'art. 7 del D.Lgs. 334/99 ed al successivo DM del 9 agosto 2000, il gestore dell'impianto deve indicare nel documento della politica di prevenzione degli incidenti rilevanti, i principi generali su cui intende basare la metodologia di prevenzione indicando tra l'altro eventuali adesioni volontarie a normative tecniche, regolamenti, accordi e iniziative, non richiesti da norme cogenti.

Le attività di identificazione dei pericoli e di valutazione del rischio devono essere effettuate e documentate nell'ambito di un'analisi di sicurezza espletata secondo lo stato dell'arte, sia per le condizioni normali di esercizio, sia per le condizioni anomale e per ogni fase di vita dell'impianto.

Inoltre per quanto riguarda il controllo operativo, il sistema di gestione della sicurezza deve prevedere la predisposizione, l'adozione e l'aggiornamento di specifiche procedure e istruzioni per il controllo operativo del processo e di tutte le attività dello stabilimento rilevanti ai fini della sicurezza.

Le procedure operative devono riguardare la conduzione e il controllo del funzionamento degli impianti in condizioni normali di esercizio, in condizioni anomale e di emergenza, tenendo in debito conto i fattori umani, al fine di assicurare la funzionalità delle interfacce fra operatori, processo e impianti.

I criteri e le procedure di manutenzione, ispezione e verifica devono essere predisposti in modo da garantire l'affidabilità e disponibilità, prevista per ogni parte dell'impianto, rilevante ai fini della sicurezza, in congruenza con quanto assunto a base delle valutazioni generali di sicurezza.

Dal canto suo i decreti attuativi dell'art 19 del D.lgs. n.93/2000 di prossima emanazione, devono emanare le disposizioni per la messa in servizio e l'utilizzazione delle attrezzature a pressione e degli insiemi.

Il contenuto di detti decreti avrà lo scopo di adottare prescrizioni volte ad assicurare la permanenza dei requisiti essenziali di sicurezza (di cui all'allegato I della direttiva) in occasione dell'utilizzazione delle

attrezzature a pressione e degli insiemi e di adeguare a tale scopo le vigenti prescrizioni tecniche in materia di utilizzazione.

In particolare saranno individuate le attrezzature a pressione e gli insiemi per i quali sarà obbligatoria la verifica di primo o nuovo impianto e saranno adottate prescrizioni in ordine all'installazione, alla messa in servizio, alla manutenzione, alla riparazione, nonché alla sottoposizione delle attrezzature e degli insiemi alle procedure di : a) dichiarazione di messa in servizio, b) controllo di messa in servizio, c) riqualificazione periodica, d) controllo dopo riparazione.

Un modo di conciliare i diversi aspetti imposti dalle direttive, alla luce anche dell'armonizzazione delle procedure di omologazione degli impianti di cui all'art. 17.2 del D.Lgs n. 334/1999 potrebbe basarsi sull'impostazione e la programmazione delle attività ispettive con riferimento al rischio insito nell'esercizio delle stesse (RBI – Risk Based Inspection).

Fermo restando il concetto fondamentale che l'affidabilità (e quindi la sicurezza) di una unità produttiva è assicurata a monte da una corretta esecuzione della costruzione degli elementi costitutivi dell'impianto (progettazione e realizzazione in sicurezza) e da un appropriato controllo delle operazioni di fabbricazione, risulta di non minore importanza, ai fini di una gestione del rischio nel tempo, una adeguata impostazione dei programmi ispettivi e manutentivi degli impianti.

L'introduzione nelle pratiche ispettive di una metodologia RBI, consente di razionalizzare la gestione delle risorse e dei mezzi o sistemi di indagine sulle apparecchiature in pressione in quanto nel processo decisionale relativo alla programmazione delle attività di controllo e manutenzione viene introdotto un parametro strettamente collegato al rischio associato all'apparecchiatura o insieme a pressione.

Dal punto di vista del Sistema di Gestione della Sicurezza (SGS), l'RBI si potrebbe inserire ed affiancare nel controllo operativo previsto dall'SGS stesso ed in particolare nelle procedure di manutenzione, ispezione e verifica.

Dal punto di vista della PED, L'RBI contribuirebbe a determinare la periodicità delle ispezioni (cogenti e non) e la tipologia e l'estensione dei controlli in funzione della criticità associata ai rischi d'impianto.

La memoria illustra delle procedure volte alla determinazione dei piani ispettivi limitatamente al danneggiamento meccanico derivante dal fenomeno di scorrimento viscoso.

1. DETERMINAZIONE DEL PROCESSO ISPETTIVO (PIANO DEI CONTROLLI)

Il processo ispettivo non può prescindere dalla definizione del piano preliminare dei controlli non distruttivi da eseguire in campo durante la fermata programmata. Tale piano può essere definito in base a considerazioni di natura oggettiva introducendo i concetti tipici dell'ispezione basata sul rischio, interagendo in maniera iterativa con la difettologia riscontrata e gli intervalli temporali di ricontrollo.

Lo scopo del programma ispettivo è quello di definire in maniera puntuale le attività necessarie per rilevare il deterioramento conseguente all'esercizio delle attrezzature prima che si verifichi una rottura.

Un programma ispettivo si sviluppa in modo sistematico secondo i principi seguenti [11]:

1. **Quale** tipo di danno cercare.
2. **Dove** cercare il danno.
3. **Come** ricercare il danno (ovvero con quale tecnica ispettiva).
4. **Quando** cercare il danno (ovvero con quale frequenza ispettiva).

1.1 Individuazione dei componenti operanti in regime di creep

Il primo passo nella procedura di life-extension consiste nell'individuazione dei componenti operanti in regime di scorrimento viscoso.

Solitamente i componenti operanti in regime di scorrimento viscoso risultano essere per i generatori di vapore i collettori uscita risurriscaldatori (RH) e surriscaldatori (SH), i tubi di collegamento, i barilotti presa vapore, ecc. Per i forni vengono presi in considerazione i tubi zona radiante e i tubi zona convettiva, mentre per i reattori le zone di alta temperatura del fasciame e dei bocchelli.

1.2 Calcolo della vita spesa preliminare

Dopo aver individuato i componenti rilevanti ai fini della sicurezza, si passa all'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.

I metodi più comunemente impiegati, oltre a quello prescritto dalla circolare ISPESL n. 15/92, sono basati sulla determinazione del parametro di Larson-Miller corrispondente alle condizioni di esercizio oppure sull'impiego di curve "sollecitazione-PLM" già esistenti.

Il metodo prescritto dalla circolare ISPESL n. 15/92 è di largo impiego in campo europeo (vedi TRD 508 e Euronorm). L'approssimazione alla base del metodo è quella di considerare lineare la curva sollecitazione-tempo; inoltre nel calcolo della $\sigma_{r/100.000/T}$ e della $\sigma_{r/200.000/T}$ si procede ad una ulteriore approssimazione, interpolando linearmente tra i valori tabellari disponibili.

I metodi basati sulla determinazione del PLM alle condizioni di esercizio si basano sulla costruzione della spezzata sollecitazione-PLM in base ai valori tabellari della sollecitazione a 100'000 ore a varie temperature. Da tali diagrammi si ricava poi, nota la sollecitazione di esercizio, il tempo teorico a rottura e quindi la vita consumata. L'approssimazione alla base del metodo è quella di considerare lineare la curva sollecitazione-PLM; la maggiorazione della sollecitazione d'esercizio ai fini della sicurezza equivale ad abbassare la curva del 20% [1].

Altri metodi di calcolo impiegano invece curve di riferimento sollecitazione-PLM per vari materiali (ad esempio normativa API 530).

1.3 Determinazione dei livelli di vita spesa : α , β , γ , δ

Come visto da un recente studio dell'ISPESL [9], i risultati ottenuti con l'impiego dei vari metodi di calcolo di vita spesa spesso non coincidono. Ciò impedisce di associarli, in modo univoco, allo stato dell'apparecchio. Si è ritenuto pertanto più opportuno suddividere la percentuale di vita dedotta dal calcolo preliminare in quattro range a ciascuno dei quali è associato un determinato livello in base alla tabella seguente (tabella 1).

Al crescere di tali livelli cresce anche la probabilità di incontrare dei difetti, come mostrato anche dall'esperienza dell'ISPESL [3]. Nasce quindi l'esigenza di assegnare al calcolo un ruolo importante all'interno della valutazione della life-extension, non tanto in senso assoluto quanto come elemento determinante per l'individuazione dell'estensione dei CND da effettuare.

	α	β	γ	δ
Livello Percentuale vita spesa	0 ÷ 25%	25% ÷ 50%	50% ÷ 75%	>75%, <100%

Tabella 1. Livelli di vita spesa

1.4 Parametro di efficacia dei controlli (PEC)

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

- categoria di pericolosità 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 pericolosità crescenti (I, II, III, IV)
- livello associato alla percentuale di vita spesa, come definito nel paragrafo precedente (α , β , γ , δ)
- livello di criticità della saldatura: molto basso (A), basso (B), medio-alto (C), alto (D).

Per quanto riguarda i collettori di generatori si è attribuito, in base alle osservazioni riscontrate, un livello di criticità molto basso (A) alle saldature delle parti non a pressione (selle, appoggi, ecc.), un grado basso (B) alle saldature fra collettore e tronchetti per serpentine ($D < 100$), un grado medio-alto (C) alle saldature fra collettore e grosse penetrazioni ($D \geq 100$) ed infine un livello di criticità alto (D) alle saldature circonferenziali di composizione di collettori o tubazioni [7].

Si veda in proposito la figura 1.

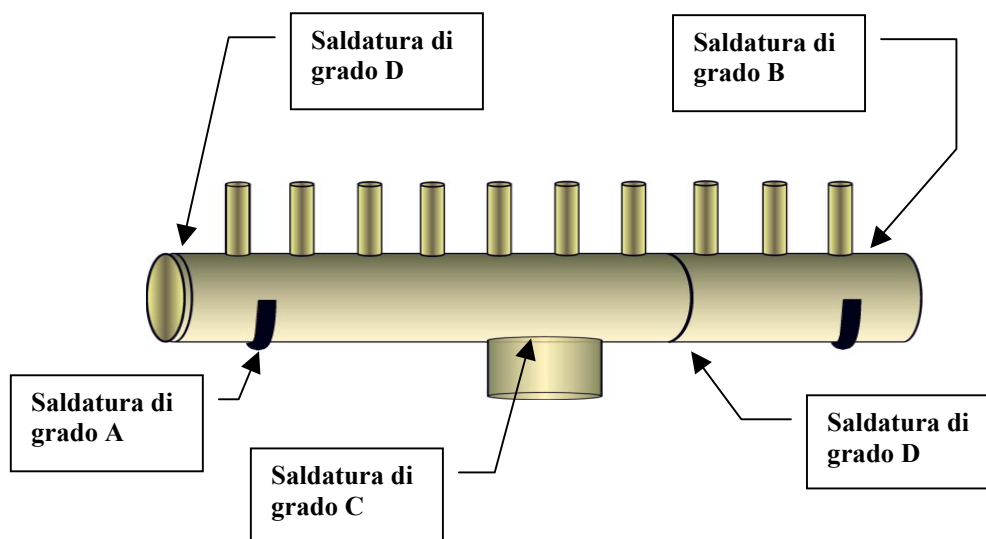


Figura 1.

Per una data saldatura, l'accuratezza del controllo deve essere quindi incrementata all'aumentare del livello di vita spesa e della categoria di pericolosità PED dell'apparecchio (vedi tabella 2).

		Livello di vita spesa			
		α	β	γ	δ
Categoria di pericolosità PED dell'apparecchio	I				
	II				
	III				
	IV				

Tabella 2. Accuratezza del controllo in funzione del livello di vita spesa e della categoria di pericolosità PED per una data saldatura

A tal fine può essere definito un parametro indicativo dell'efficacia del controllo (PEC: parametro efficacia controllo) variabile da 1 a 5 secondo un criterio di severità crescente. Una descrizione puramente qualitativa della efficacia del controllo associata a ciascun valore del PEC è riportata in tabella 3.

PEC	EFFICACIA DEL CONTROLLO
1	Limitata
2	Moderatamente diffusa
3	Mediamente diffusa
4	Altamente diffusa
5	Elevata

Tabella 3. Classificazione dei livelli di PEC ed estensione dei controlli

A scopo esemplificativo si riporta, in tabella 4, una possibile corrispondenza tra PEC ed efficacia dei CND.

PEC	EV	RT o UT	PT o MT	UTS	ST
1	100%	-	10%	-	-
2	100%	10%	10%	10%	1 ogni 7 saldature (min 2)
3	100%	15%	15%	15%	1 ogni 6 saldature (min 2)
4	100%	20%	20%	20%	1 ogni 5 saldature (min 2)
5	100%	30%	30%	30%	1 ogni 4 saldature (min 2)

Tabella 4. Controlli non distruttivi in funzione del PEC

Avendo adottato la seguente simbologia:

UT ultrasuoni	MT controlli magnetoscopici
RT radiografie	UTS ultrasuoni spessimetrici
PT liquidi penetranti	ST repliche
EV esame visivo	

I valori del PEC relativi al livello di criticità minimo della saldatura di parti in pressione (grado B), possono essere determinati in accordo alla seguente tabella :

PEC_B	α	β	γ	δ
I	1	1	1	2
II	1	2	2	3
III	2	2	3	3
IV	3	3	4	4

Tabella 5. Valori del Parametro di efficacia controlli PEC (saldature grado B)

Per i gradi C e D si utilizzano i valori sopra ricavati opportunamente modificati dalle relazioni seguenti:

$$PEC_C = \min [(PEC_B + 1) , 5] \quad (1)$$

$$PEC_D = \min [(PEC_B + 2) , 5] \quad (2)$$

assumendo per la saldatura di grado A: $PEC_A = 1$

La procedura ivi riportata per la determinazione del PEC si riferisce all'individuazione dell'efficacia dei controlli da effettuare in occasione del primo controllo. Infatti per i controlli successivi si hanno a disposizione delle informazioni più precise sullo stato del componente derivanti dai risultati dei controlli

non distruttivi; il valore del PEC in questi casi non potrà prescindere dai risultati delle suddette analisi oltre che dalla scelta dell'ampiezza dell'intervallo temporale fra i due controlli, come vedremo nel capitolo successivo.

2. DETERMINAZIONE DEGLI INTERVALLI DI RICONTROLLO

Una procedura logica e ripetibile per la determinazione degli intervalli di ricontrollo non può prescindere dall'applicazione della tecnica RBI, con la quale oltre a definire l'intervallo di controllo "base" in funzione di una matrice probabilità/conseguenze, permette una estensione del suddetto intervallo temporale in seguito ad un incremento dell'efficacia dei controlli.

I risultati dei CND e delle Repliche permettono di definire un indice di danno che, combinato con il livello di criticità della saldatura sulla quale tale danno è stato rilevato, fornisce una indicazione del rischio correlato. Da tale indicatore del rischio si può risalire all'intervallo di ri-controllo più idoneo, funzione della estensione del controllo scelta dal Progettista [10].

2.1 Classificazione dei difetti CD

Mediante l'esecuzione dei controlli non distruttivi è possibile individuare difetti di varia natura (corrosione, erosione, fatica, ecc) che influenzano in modo più o meno determinante la vita residua del componente.

Non esiste, attualmente, un criterio consolidato di uso corrente per la classificazione dei risultati dei CND, alla stregua di quanto si fa per calcoli e repliche. Ciò ovviamente in virtù della difficoltà di quantizzare il degrado rilevato dai controlli in termini numerici o percentuali.

E' evidente che una precisa e puntuale classificazione dei CND può essere fatta solo prendendo in considerazione sia l'analisi del difetto che l'esperienza maturata in campo sui difetti rilevati in precedenza.

La difettologia riscontrata può essere classificata secondo criteri deterministici che prendono in considerazione il tipo, la geometria e la posizione, secondo un indice CD variabile tra 1 e 5 come da tabella 6 [7].

Classe del difetto: CD	Difetti riscontrati
1	Nessun difetto
2	Difettosità lieve
3	Difettosità media
4	Difettosità alta
5	Difettosità molto alta

Tabella 6. Classificazione dei difetti

A tal fine l'ISPESL sta mettendo a punto, coadiuvato da appositi gruppi di lavoro CTI/UNI, una procedura mirata sulla base della esperienza acquisita nel settore.

2.2 Classificazione del danneggiamento da creep

Il danneggiamento da scorrimento viscoso, evidenziato mediante esecuzione di repliche metallografiche, può essere classificato sulla falsariga del criterio di Neubauer [4], mediante indici variabili da 1 a 5 a cui corrispondono rispettivamente i casi estremi di materiale non danneggiato e materiale con presenza di macrocricche.

2.3 Individuazione dell'indice di danno (PID)

Lo stato di danneggiamento di un componente (o di una determinata saldatura) può essere evidenziato combinando il risultato dei controlli non distruttivi e degli esami metallografici. Infatti un difetto evidenziato dai CND può rivelarsi più pericoloso se accompagnato da un danno da creep; in tal caso il difetto potrebbe evolvere con grande rapidità e portare in breve tempo a rottura.

L'indice del grado di danno (parametro indicativo del danno: PID) viene definito in funzione della classe del difetto (numero, profondità, lunghezza ecc) e alla classe del danneggiamento da creep (tabella 7).

CLASSE DEL DIFETTO	5	V	V	V	V	V
	4	IV	IV	IV	IV	V
	3	III	III	III	IV	V
	2	II	II	III	IV	V
	1	I	II	III	IV	V
		1	2	3	4	5
		CLASSE DEL DANNO MICROSTRUTTURALE				

Tabella 7. Parametro indicativo del danno in funzione del risultato di CND e repliche

2.4 Individuazione dell'indice di rischio (PIR)

Una volta definito il parametro indicativo del danno (PID), correlabile alla probabilità di rottura del componente, occorre tenere in considerazione quali conseguenze possono derivare dalla rottura stessa. Questo parametro è strettamente dipendente dal tipo di saldatura e dal livello di criticità ad essa associata. Ad esempio la rottura di una saldatura di composizione di un collettore SH di un generatore di vapore può avere conseguenze certamente più gravi della rottura di una saldatura tra collettore e branchetto. E' opportuno quindi definire una correlazione tra indice di danneggiamento e livello di criticità della saldatura introducendo un ulteriore parametro (PIR: Parametro Indicativo del Rischio) deducibile dalla tabella 8.

INDICE DI DANNO (ID)	V	5	5	5	5
	IV	4	4	5	5
	III	3	3	4	5
	II	2	2	3	4
	I	1	1	2	3
		A	B	C	D
		LIVELLO DI CRITICITÀ SALDATURA			

Tabella 8. Parametro indicativo del rischio in funzione dell'indice di danno e del livello di criticità della saldatura

2.5 Intervalli di ricontrollo

Una volta individuato il parametro indicativo del rischio (PIR) ed il parametro di efficacia dei controlli (PEC), si può stabilire quanto segue:

1. l'estensione del controllo minimo da effettuare su un componente associato ad un determinato indice di rischio;
2. l'eventuale incremento dell'intervallo di ricontrollo (rispetto al tempo base), in funzione dell'estensione del controllo scelta;

Facendo riferimento alla tabella seguente (tabella 9) si determina, in funzione del PIR, l'intervallo di ricontrollo corrispondente al piano di controllo scelto; muovendosi in orizzontale sulla tabella si ottengono gli intervalli di ricontrollo ridotti in corrispondenza di valori incrementati del PEC.

Per ogni valore del PIR esiste tuttavia un livello minimo del piano di efficacia dei controlli al di sotto del quale (zona tratteggiata) si ritiene che detta efficacia sia insufficiente per il rischio specifico correlato. I tempi “base” (T_I , T_{II} , T_{III} , T_{IV} , T_V) possono essere determinati in vario modo, ad esempio adottando il criterio attualmente utilizzato dall’ ISPEL in fase di riomologazione di componenti operanti in regime di creep.

PIR	5					T_V
	4				T_{IV}	$T_{IV}/0.8$
	3			T_{III}	$T_{III}/0.8$	$T_{III}/0.7$
	2		T_{II}	$T_{II}/0.8$	$T_{II}/0.7$	$T_{II}/0.6$
	1	T_I	$T_I/0.8$	$T_I/0.7$	$T_I/0.6$	$T_I/0.5$
		1	2	3	4	5
		PEC				

Tabella 9. Intervalli di ricontrollo in funzione del PIR e del PEC

I passi fondamentali della procedura possono essere schematizzati in maniera semplice ed immediata in un diagramma di flusso (fig. 2).

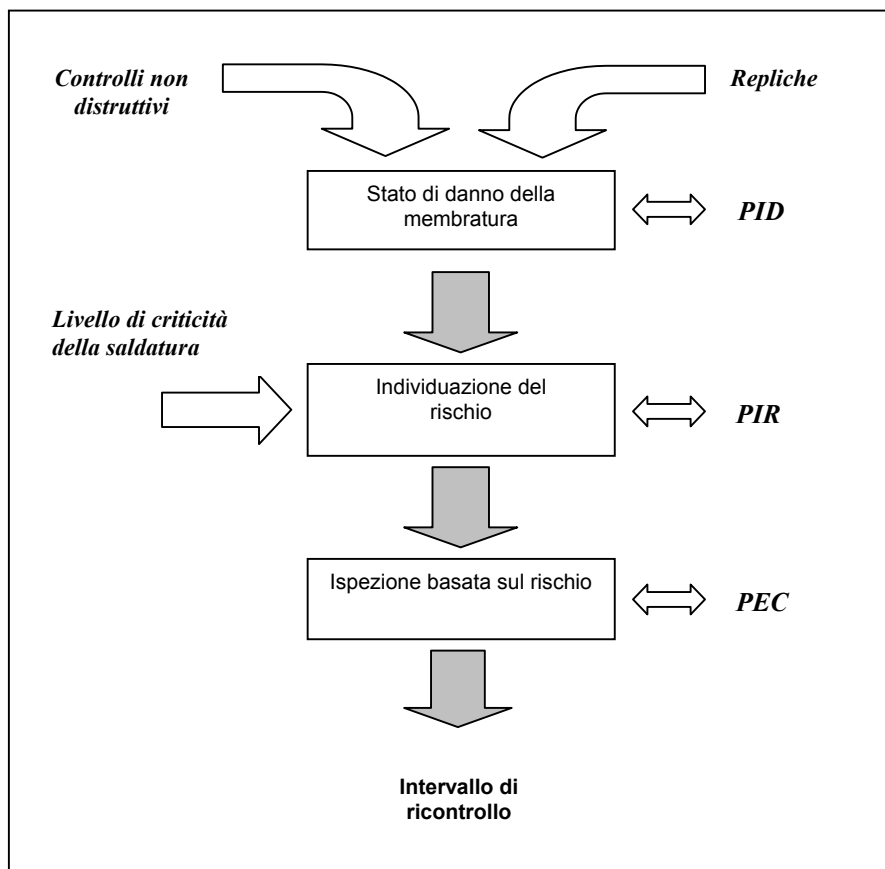


Figura 2. Determinazione degli intervalli di ricontrollo in funzione del PEC: Diagramma di flusso

3. CONCLUSIONI

Sulla base dei dati di esercizio nonché 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, da sottoporre ad ulteriore implementazione, è un importante passo per definire un metodo attendibile che semplifichi la politica decisionale dell'Ente preposto all'autorizzazione all'ulteriore esercizio e che fornisca un utile strumento per il progettista responsabile della procedura di life-extension.

La procedura consente inoltre di razionalizzare la gestione delle risorse e dei mezzi o sistemi di indagine sulle apparecchiature in pressione in quanto nel processo decisionale relativo alla programmazione delle attività di controllo e manutenzione viene introdotto un parametro strettamente collegato al rischio associato al componente sotto esame.

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] M. Shammam et al.: *"Remaining Life of Boiler Pressure Parts, HAZ Models"* Final Report RP 2253-1, Vol. 2, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, 1988
- [7] M. Moretti, *"Componenti in regime di scorrimento viscoso: criteri di valutazione delle saldature."* Documento Ansaldo B-0856 del 30/10/1995.
- [8] R. Viswanathan: *"Damage Mechanisms and Life Assessment of High-Temperature Components"* – ASM INTERNATIONAL – 1989
- [9] C. Delle Site: *"Il ruolo del calcolo di vita consumata per scorrimento viscoso"* Convegno: Vita residua di componenti funzionanti in regime di scorrimento viscoso", Siracusa 21-22 giugno 2001.
- [10] C. Delle Site, F. Di Tosto, E. Franchi: *"Metodologia basata sul rischio per la determinazione del piano ispettivo dei controlli da effettuarsi su attrezzature in pressione operanti in regime di scorrimento viscoso"*, Convegno IGF, Catania 20-22 giugno 2002.
- [11] Risk Based Inspection - Base resource Document , API Publication 581, may 2000