CE 2-14

N° massimo di cicli operativi teorici, in relazione al gruppo di servizio ed al regime di carico

Regime di carico			Gruppo di servizio ISO 4301/1 (= FEM 1.001)							
Tipo	Carico	% Carico	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q1	Leggero	≈ 50 %	63.000	125.000	250.000	500.000	1.000.000	2.000.000	4.000.000	> di 4.000.000
Q2	Medio	≈ 63 %	32.000	63.000	125.000	250.000	500.000	1.000.000	2.000.000	4.000.000
Q3	Pesante	≈ 80 %	16.000	32.000	63.000	125.000	250.000	500.000	1.000.000	2.000.000
Q4	Molto pesante	≈ 100 %	=	16.000	32.000	63.000	125.000	250.000	500.000	1.000.000

TABELLA III– NUMERO MAX CICLI OPERATIVI

R.d.C.	Fattore di spettro del carico nominale K_p	Condizione di impiego e massimo numero di cicli operativi di un apparecchio di sollevamento									
		U_0	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9
Q_1(leggero)	0,125			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q_2 (moderato)	0,25		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
Q_3(pesante)	0,5	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8		
Q_4 (molto pesante)	1,0	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8			

TABELLA IV – CLASSE DEGLI APPARECCHI

6. ACCERTAMENTO DEL PERIODO RESIDUO DI ESERCIZIO DELL'APPARECCHIO

L'accertamento del periodo di esercizio dell'apparecchio è stato eseguito sulla scorta degli elementi normativi e tecnici descritti in precedenza.

In particolare, così come voluto dalla norma, si è tenuto conto della classificazione di massima dell'apparecchio nel suo insieme, in quanto scelta indicativa del costruttore (o con una attribuzione ragionevole laddove non fosse reperibile la documentazione originaria della macchina).

L'analisi si sviluppa attraverso la valutazione della resistenza a fatica delle "sezioni deboli" della struttura nel suo insieme, ovvero ai dettagli costruttivi che, per configurazione e tipologia

di assemblaggio, evidenziano il fattore di rischio più elevato ai fini della rottura per fatica. In ciò trova piena applicazione la teoria di Palmgre-Miner, con le seguenti ipotesi di lavoro:

- non potendo procedere a una analisi accurata delle tensioni unitarie di sollecitazione presenti nelle sezioni strutturali considerate (possibile solo con una completa verifica statica), si assume quale valore di oscillazione delle tensioni nella sezione ($\Delta\sigma i$) il valore massimo riferito alla tensione ammissibile del materiale. Una simile ipotesi trova giustificazione nel fatto che la progettazione dell'apparecchio presuppone un insieme di verifiche statiche nelle quali le tensioni di esercizio (eventualmente maggiorate dai coefficienti che tengono conto dei fenomeni dinamici) devono essere comunque inferiori alle tensioni ammissibili di riferimento;
- a favore di sicurezza non si procede alla diminuzione dei valori di $\Delta\sigma i$, mantenendo in tale modo la maggiorazione indotta dal coefficiente M (quale coefficiente di amplificazione dei carichi, variabile in relazione alla classificazione dell'apparecchio, secondo UNI ISO 4301/1);
- si assume γ_{Ff} = 1,00 in quanto in generale le norme di calcolo specifiche non prevedono valori diversi;
- a favore di sicurezza si assume γ_{Mf} = 1,35, ovvero si tiene conto delle più sfavorevoli condizioni associabili alla rintracciabilità del danno.

7. SCHEDA ANAGRAFICA PIATTAFORMA AEREA

Costruttore:	***JLG INDUSTRIES***
Modello:	***3246ES***
Portata:	***320 Kg***
Numero Di Fabbrica:	***12000004549***
Matricola:	***2010/2/00289/TO***
Anno Di Costruzione:	***2005***

UTILIZZATORE: **MOLLO S.r.l.**
Corso Canale, 110 – Fraz. Mussotto
12051 ALBA (CN)

8. CALCOLO DELLA VITA RESIDUA

La struttura di una gru, molto spesso, dura più a lungo delle sue parti.

Essa è soggetta a CICLI DI CARICO, ossia a fenomeni di fatica strutturale.

Nella struttura della gru si manifestano delle piccole lesioni (CRICCHE) che nel tempo si propagano e possono portare al collasso della gru stessa. Quando la gru supera i 10 anni di vita bisogna effettuare una VERIFICA STRUTTURALE per andare a capire, sulla base delle condizioni della struttura, quanti CICLI DI VITA RESIDUI rimangono alla gru rispetto alla CLASSE stabilita dal costruttore della gru.

Il nuovo Decreto Ministeriale 11 Aprile 2011 (che è entrato in vigore il 24 Gennaio 2012) ha reso obbligatoria per le gru che superano i 20 anni di età *"l'INDAGINE SUPPLEMENTARE"*, cioè una verifica strutturale finalizzata ad individuare eventuali difetti o anomalie e a stabilire la vita residua.

La novità è che tale indagine supplementare dovrà essere esibita dal Datore di Lavoro al funzionario addetto alla verifica periodica, e non prescritta da quest'ultimo. Quando la gru raggiunge i 20 anni di vita, quindi, il *"Datore di Lavoro deve obbligatoriamente fare eseguire dall'Ingegnere Esperto la verifica strutturale"*.

E' pertanto opportuno procedere, superati i 10 anni dalla messa in servizio (secondo quanto prescritto da alcune Norme Tecniche, quali la ISO 12482-1 e la FEM 9.755) all'effettuazione di un accertamento del periodo residuo di esercizio dell'apparecchio (calcolo dei cicli di vita residua) e all'ispezione approfondita (Punto 7 Norma ISO 9927-3:2005) da parte dell'Ingegnere Esperto (Punto 5.2.2 della Norma UNI ISO 9927-1).

In via preliminare, il tecnico dovrà acquisire tutti gli elementi necessari che gli consentiranno di ricostruire la vita pregressa dell'apparecchio di sollevamento. Questi elementi possono essere estrapolati dalla documentazione fornita dall'utilizzatore come: libretto ENPI/ISPESL o Registro di Controllo, rapporti di manutenzione eseguiti da ditta specializzata, verbali di verifica periodica, documenti di acquisto di componenti sostituiti, ecc.

Il problema è che spesso non si riesce a risalire alla vita pregressa della gru, perché la documentazione storica è insufficiente o addirittura mancante, oppure perché l'utilizzatore ha acquistato la gru usata ed è in possesso della documentazione minima. In questi casi il tecnico incaricato della verifica strutturale, per poter definire un numero di

cicli fatti nel periodo di vita della gru (da sottrarre al numero di cicli previsto dal costruttore), si fa firmare una dichiarazione dall'utilizzatore, una autocertificazione sulla frequenza di utilizzo e sul tipo carico generalmente sollevato (spettro di carico). E qui è chiaro il conflitto di interessi che si genera, perché l'utilizzatore avrà tutta la convenienza nel dichiarare una bassa frequenza di utilizzo affinché sia grande la vita residua della macchina (e quindi posticipare un eventuale oneroso acquisto di gru nuova).
E' fortemente consigliabile che il verificatore, cioè l'ingegnere abilitato, non si limiti al solo esame visivo della struttura e al calcolo dei cicli di vita residui sulle sole indicazioni rilevabili dai documenti e dalla dichiarazione dell'utilizzatore, ma faccia eseguire da una ditta specializzata i controlli non distruttivi. Controlli che dovranno ovviamente essere certificati dalla ditta con l'emissione di un Certificato di Controllo che viene allegato alla relazione dell'ingegnere. In tal senso è opportuno precisare che chi effettua i controlli non distruttivi deve essere in possesso delle specifiche abilitazioni in base alla EN 473.
Nel ns. caso, in questa prima fase, il sottoscritto non ritiene opportuno fare eseguire controlli non distruttivi, in quanto, secondo le dichiarazioni dell'utilizzatore, l'apparecchio ha lavorato con una frequenza di cicli e spettro di carico di carico decisamente inferiore a quelle delle sue possibilità.

8.1. SCHEDA DESCRITTIVA DEI CICLI EFFETTUATI

Anno di verifica: **2025**

In base ai dati forniti dall'utilizzatore (vedere scheda allegata) rileviamo i seguenti dati come da tabelle sotto riportate:

a) Carico di riferimento **P_1= 25% P_{max} = 0,25x320= 80 daN**

N.	Periodo	Formula		cicli
1	2005 - 2024	2 c/g x 18 g/m x 10 m/a x 20 na		7200
		TOTALE CICLI EFFETTUATI	n_1=	7200

b) Carico di riferimento **P_2=50% P_{max} = 0,50x320 = 160 daN**

N.	Periodo	Formula		Cicli
1	2005 - 2024	11 c/g x 18 g/m x 10 m/a x 20 na		39600
		TOTALE CICLI EFFETTUATI	n_2=	39600

c) Carico di riferimento **P_3=75% P_{max} = P_{max} 0,75x320 = 240 daN**

N.	Periodo	Formula		Cicli
1	2005 - 2024	9 c/g x 18 g/m x 10 m/a x 20 na		32400
		TOTALE CICLI EFFETTUATI	n_3=	32400

d) Carico di riferimento **P_4= P_{max} = 320 daN**

N.	Periodo	Formula		cicli
1	2005 - 2024	4 c/g x 18 g/m x 10 m/a x 20 na		14400
		TOTALE CICLI EFFETTUATI	n_4=	14400

Legenda:

c/g – numero di cicli effettuati mediamente in un giorno

g/m – numero medio di giorni di utilizzo in un mese

m/a - numero medio di mesi di utilizzo in un anno

na - anni di utilizzo riferiti al periodo

8.2. DETERMINAZIONE DELLO SPETTRO DI CARICO (Ksp)

Non avendo a disposizione la relazione di calcolo delle strutture, nonché il numero massimo di cicli teorico, forniti dal costruttore, funzione del regime di carico e classe di appartenenza, procediamo direttamente al calcolo, mediante i dati in ns. possesso, forniti dall'utilizzatore.

Dalla relazione di cui sopra abbiamo che lo spettro di carico K_{sp} è dato dalla seguente relazione:

$$K_{sp} = \sum \left[\frac{C_i}{C_T} \left(\frac{P_i}{P_{\max}} \right)^m \right]$$

dove:

C_i rappresenta il numero medio di cicli di carico che si hanno a ciascun livello di carico (n_1=7200; n_2= 39600; n_3= 32400; n_4= 14400)

C_T è il totale dei cicli di carico singoli a tutti i livelli (n_1 = 93600)

P_i rappresenta le grandezze individuali di carico (livelli di carico) caratteristiche del servizio dell'apparecchio (P_1= 80 daN; P_2= 160 daN; P_3= 240 daN; P_4= 320 daN)

P_{max} è il carico consentito più pesante che deve essere sollevato dall'apparecchio

m = 3

dai calcoli abbiamo:

$$K_{sp} = \sum \left[\frac{C_i}{C_T} \left(\frac{P_i}{P_{\max}} \right)^m \right] = 0{,}353966$$

8.3. DETERMINAZIONE DEL REGIME DI CARICO (Qi)

Dalla tabella II abbiamo che per ***K_{sp} = 0,353966*** la gru appartiene al regime di carico: ***Q_3***

8.4. DETERMINAZIONE DELLE CONDIZIONI D'IMPIEGO (Ui)

Classificazione del gruppo di servizio della gru (secondo ISO 4301 – 2 –Punto 3 - Prospetto 1):

Condizioni di servizio della gru:	**Gruppo A 1**
Meccanismi di sollevamento:	**Gruppo M 3**
Meccanismo di manovra braccio:	**Gruppo M 2**
Meccanismo di rotazione:	**Gruppo M 2**
Sistema telescopico:	**Gruppo M 1**
Meccanismo di spostamento:	**Gruppo M 1**

Dalla tabella III, in base a ***Q_3*** ed ***A1***, abbiamo che la gru appartiene alla condizione di impiego: ***U_0***

8.5. DETERMINAZIONE DEL NUMERO DI CICLI CONVENZIONALE (ni)

Dalla tabella I, per le condizioni di impiego ***U_0*** abbiamo un numero di cicli convenzionale massimi di vita pari a: **n_{max} = 16.000**

9. RESISTENZA A FATICA DEL PARTICOLARE STRUTTURALE PIU' SOLLECITATO

Nella relazione si riporta unicamente lo sviluppo del calcolo riferito al dettaglio strutturale più sensibile al fenomeno della fatica del materiale.

9.1. SCHEDA DI IDENTIFICAZIONE DELL'ELEMENTO STRUTTURALE CONSIDERATO

- **Norma di riferimento per l'identificazione del dettaglio strutturale:**
  UNI ENV 1993-1-1 Punto 9 – Fatica
- **Elemento strutturale considerato:**
  travatura gru
- **Categoria dei particolari:**

Descrizione	Delta di tensione	Valore (daN/cm^2)
valore di riferimento della resistenza a fatica a 0.5 milioni di cicli	$\Delta\sigma_C$	800
limite di fatica ad ampiezza costante	$\Delta\sigma_D$	590
limite per i calcoli a fatica	$\Delta\sigma_L$	320

9.2. CALCOLO DEL NUMERO DI CICLI CHE PROVOCANO LA ROTTURA

Si fa riferimento alle seguenti relazioni:

$$N_i = 5 \cdot 10^6 \cdot \left[\frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Mf} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i} \right]^3 \qquad \text{se} \quad \Delta\sigma_i \geq \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Mf} \cdot \gamma_{Ff}}$$

$$N_i = 5 \cdot 10^6 \cdot \left[\frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Mf} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i} \right]^5 \qquad \text{se} \qquad \frac{\Delta\sigma_L}{\gamma_{Mf} \cdot \gamma_{Ff}} \le \Delta\sigma_i \le \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Mf} \cdot \gamma_{Ff}}$$

$$N_i = \infty \qquad \text{se} \qquad \Delta\sigma_i \le \frac{\Delta\sigma_L}{\gamma_{Mf} \cdot \gamma_{Ff}}$$

dove:

n_i numero di cicli effettivi relativi al $\Delta\sigma_i$

N_i numero di cicli di tensione γ_{Mf}. γ_{Ff}. $\Delta\sigma_i$ che provocano la rottura

$\Delta\sigma_D$ limite di fatica ad ampiezza costante

$\Delta\sigma_i$ oscillazione della tensione nella sezione considerata (coincidente con σ_{amm})

γ_{Ff} = coefficiente parziale di sicurezza per carichi di fatica (γ_{Ff} =1,00)

γ_{Mf} = coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza a fatica (γ_{Mf} = 1,35)

Schema di sintesi dei risultati di calcolo:

con

$P_i = P_{max}$ ($\Delta\sigma_{max}$ = 1600 daN/cm^2)

P_1 = 25% P_{max} ($\Delta\sigma_1$ = 400 daN/cm^2) → N_1 = 7.785.047 cicli

P_2 = 50% P_{max} ($\Delta\sigma_2$ = 800 daN/cm^2) → N_2 = 815.182 cicli

P_3 = 75% P_{max} ($\Delta\sigma_3$ =1200 daN/cm^2) → N_3 = 241.536 cicli

$P_4 = P_{max}$ ($\Delta\sigma_4$ =1600 daN/cm^2) → N_4 = 101.898 cicli

9.3. *CALCOLO DEL LIVELLO DI DANNEGGIAMENTO INDICATIVO DELLA STRUTTURA*

Applicando la teoria di Palmare-Miner si ricava il numero dei cicli residui tenendo conto dell'affaticamento subito dal materiale in ragione dei cicli effettuati.

Si fa riferimento alla seguente relazione:

$$D = \sum_{i=1}^{n} \frac{n_i}{N_i}$$

n_i numero di cicli effettivi relativi al periodo considerato

Ni numero di cicli di tensione che provocano la rottura

per P_1 = 25% $P_{max} \rightarrow D_1 = \frac{n_1}{N_1} = 0{,}000924850$

per P_2 = 50% $P_{max} \rightarrow D_2 = \frac{n_2}{N_2} = 0{,}048578088$

per P_3 = 75% $P_{max} \rightarrow D_3 = \frac{n_3}{N_3} = 0{,}134141764$

per P_4 = $P_{max} \rightarrow D_4 = \frac{n_4}{N_4} = 0{,}141318073$

Livello del danneggiamento presente nel dettaglio strutturale alla data della valutazione;

$$D = \sum_{i=1}^{n} D_i = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 = 0{,}324962775$$

Fattore di danneggiamento residuo:

$$D_r = 1 - D = 1 - 0{,}324962775 = 0{,}675037225$$

9.4. *SCHEDA DI CALCOLO DEL PERIODO RESIDUO DI ESERCIZIO (Numero di cicli annuale riferiti alle future di condizioni di carico previste)*

Carico di riferimento	Formula	Cicli/anno
P_1 = 25% P_{max}	2 c/g x 18 g/m x 10 m/a	n^r_1 = 360
Carico di riferimento	**Formula**	**Cicli/anno**
P_2 = 50% P_{max}	11 c/g x 18 g/m x 10 m/a	n^r_2 = 1980
Carico di riferimento	**Formula**	**Cicli/anno**
P_3 = 75% P_{max}	9 c/g x 18 g/m x 10 m/a	n^r_3 = 1620

Carico di riferimento	Formula	Cicli/anno
$P_4 = P_{max}$	4 c/g x 18 g/m x 10 m/a	$n^r_4 = 720$

Ai fini della determinazione del periodo di utilizzo futuro si è tenuto conto delle seguenti ipotesi di utilizzo dichiarate dalla Ditta:

360 cicli/anno con $P_1 = 25\% P_{max}$

1980 cicli/anno con $P_2 = 50\% P_{max}$

1620 cicli/anno con $P_3 = 75\% P_{max}$

720 cicli/anno con $P_4 = P_{max}$

9.5. *CALCOLO DEL NUMERO DI CICLI CHE PROVOCA LA ROTTURA CON RIFERIMENTO ALLE FUTURE CONDIZIONI DI CARICO*

Ponendo la condizione:

$$\frac{n^r_i}{N_i} = 1 \quad \rightarrow \quad n^r_i = N_i$$

Abbiamo i seguenti valori:

con $P_i = P_{max}$ ($\Delta\sigma_{max} = 1600$ daN/cm^2)

$P_1 = 25\% P_{max}$ ($\Delta\sigma_1 = 400$ daN/cm^2) $\rightarrow$ $N_1 =$ 7.785.047 cicli

$P_2 = 50\% P_{max}$ ($\Delta\sigma_2 = 800$ daN/cm^2) $\rightarrow$ $N_2 =$ 815.182 cicli

$P_3 = 75\% P_{max}$ ($\Delta\sigma_3 = 1200$ daN/cm^2) $\rightarrow$ $N_3 =$ 241.536 cicli

$P_4 = P_{max}$ ($\Delta\sigma_4 = 1600$ daN/cm^2) $\rightarrow$ $N_4 =$ 101.898 cicli

9.6. *CALCOLO DEL FATTORE DI DANNEGGIAMENTO RESIDUO ANNUALE*

Si fa riferimento alla seguente relazione:

$$d^r_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{n^r_i}{N_i}$$

n_i numero di cicli previsti in un anno

per P_1 = 25% P_{max} n^r_1 = 360

per P_2 = 50%P_{max} n^r_2 = 1980

per P_3 = 75% P_{max} n^r_3 = 1620

per P_4 = P_{max} n^r_4 = 720

N_i numero di cicli di tensione che provocano la rottura

Con

P_i = P_{max} ($\Delta\sigma_{max}$ = 1600 daN/cm^2)

P_1 = 25% P_{max} ($\Delta\sigma_1$ = 400 daN/cm^2) → N_1 = 7.785.047 cicli

P_2 = 50% P_{max} ($\Delta\sigma_2$ = 800 daN/cm^2) → N_2 = 815.182 cicli

P_3 = 75% P_{max} ($\Delta\sigma_3$ =1200 daN/cm^2) → N_3 = 241.536 cicli

P_4 = P_{max} ($\Delta\sigma_4$ =1600 daN/cm^2) → N_4 = 101.898 cicli

Schema di sintesi dei risultati di calcolo:

con

P_i = P_{max} ($\Delta\sigma_{max}$ = 1600 daN/cm^2)

P_1 = 25% P_{max} ($\Delta\sigma_1$ = 400 daN/cm^2) → d^r_1 = 0,000046242 cicli

P_2 = 50% P_{max} ($\Delta\sigma_2$ = 800 daN/cm^2) → d^r_2 = 0,002428904 cicli

P_3 = 75% P_{max} ($\Delta\sigma_3$ = 1200 daN/cm^2) → d^r_3 = 0,006707088 cicli

P_4 = P_{max} ($\Delta\sigma_4$ = 1600 daN/cm^2) → d^r_4 = 0,007065904 cicli

Livello del danneggiamento residuo totale riferito al periodo di utilizzo di un anno:

$$d^r = \sum_{i=1}^{n} d^r_{i_i} = d^r_1 + d^r_2 + d^r_3 + d^r_4 = 0{,}016248139$$

9.7. CALCOLO DEL PERIODO RESIDUO DI UTILIZZO

Il periodo residuo di utilizzo sarà determinato a partire dalla relazione di Palmgre-Miner, imponendo la condizione di uguaglianza rispetto al valore unitario:

$$D = \sum_{i=1}^{n} \frac{n_i}{N_i} = 1$$

Tale valore deve però essere messo in relazione con le ipotesi di lavoro future dell'apparecchio, le quali possono essere in parte, o in tutto, uguali o diverse rispetto a quelle del passato.

Verrà pertanto impostata una nuova uguaglianza, sempre differenziata per ciascun dettaglio strutturale individuato, nella quale il danneggiamento residuo è confrontato con la distribuzione del numero di cicli attesi di lavoro.

$$D_r = \sum_{i=1}^{n} \frac{n^r{}_{j_i}}{N^r{}_{j_i}}$$

In particolare deve essere:

$$0{,}60 \le \frac{n_{j_i}}{N_{j_i}} \le 2{,}2$$

Ciò testimonia una forte dispersione dei dati sperimentali e alcune manchevolezze della legge stessa che, nella sua estrema semplicità, non tiene conto dell'ordine secondo cui sono applicati i vari livelli di sollecitazione (fenomeni di allenamento o sovraccarico) e non considera i carichi di intensità inferiore al limite di fatica.

A favore di sicurezza, ovvero quando non c'è una conoscenza sufficientemente precisa dello spettro di carico, o in presenza di componenti importanti per la sicurezza globale della costruzione è preferibile assumere un valore della sommatoria prossimo o inferiore all'unità.

La teoria di Palmgre-Miner permette perciò di determinare il numero limite teorico di cicli compatibili con il particolare dettaglio strutturale analizzato. Si è quindi in grado di collegare, non più in modo convenzionale, la resistenza a fatica alla tipologia costruttiva della macchina e al livello delle massime tensioni di sollecitazione presenti nella sezione considerata.

Con riferimento alla seguente relazione si determina il periodo residuo di esercizio:

$$y_1{}^{res} = \frac{D_r}{\left(\sum_{j=1}^{n} d_{j1}{}^{r}\right)} = \frac{0{,}675037225}{0{,}016248139} = 42 cicli$$

Dal calcolo non si evidenzia un limite significativo per il periodo di utilizzo.

Il valore teorico di $y_1{}^{res}$ cosi ricavato tiene conto di un fattore di danneggiamento della formula di Miner pari a 1. Ai fini della definizione dei tempi massimi entri i quali effettuare una nuova ispezione strutturale è opportuno adottare un fattore di danneggiamento minore.