

IGF6 - VI Convegno Nazionale
GRUPPO ITALIANO FRATTURA
Ancona, 7 - 8 giugno 1990

INDIVIDUAZIONE DELLE MODALITA' DI ISPEZIONE IN SERVIZIO PER
APPARECCHI DI SOLLEVAMENTO PORTUALI ("PORTAINERS")
CON I METODI DELLA MECCANICA DELLA FRATTURA

F. ALICINO(*) - R. ANTONI(**)
ANSALDO SISTEMI INDUSTRIALI S.p.A.
Via Pieragostini, 50
16151 Genova

SOMMARIO

Vengono presentati e discussi i criteri seguiti per individuare la metodologia adottata da Ansaldo Sistemi Industriali per redigere i Manuali di Ispezione in Servizio per le macchine di sollevamento impiegate nei porti per il carico e lo scarico dei "Containers".

L'approccio adottato è essenzialmente rivolto alla definizione di una metodologia che consenta di individuare, sulla base delle informazioni fornite dai Rapporti di Verifica Strutturale emessi in sede progettuale, ovvero dei Margini di Verifica, per lo stato tensionale, e dei Fattori d'Uso Cumulativo, per la fatica, le zone critiche. Con tale termine si intende indicare quelle zone dove i difetti critici (cioè, quelli aventi elevata probabilità di crescere in modo instabile sotto il massimo carico di servizio) ed i corrispondenti difetti iniziali (cioè, quei difetti che, sotto la ripetizione ciclica delle condizioni operative, possono crescere sino al raggiungimento delle dimensioni critiche) hanno le dimensioni minime e dunque sono di più difficile rintracciabilità.

Tale esigenza si pone tenendo conto dell'elevato numero di giunti saldati in una macchina siffatta e, soprattutto, dell'elevata dispersione delle coppie di valori di Margine di Verifica e Fattore d'Uso Cumulativo che si possono registrare nelle varie zone.

Una volta individuate le regioni da esaminare, esse vengono trattate con i classici metodi della Meccanica della Frattura Elastico-Lineare, al fine di valutare le dimensioni critiche e le dimensioni iniziali per i diversi tipi di difetti ipotizzabili. In tale maniera il Manuale di

(*) Consulente

(**) Responsabile Ingegneria Unità Operativa Movimentazione

Ispezione, oltre a segnalare le zone da ispezionare periodicamente e gli intervalli di tempo tra un'ispezione e l'altra, fornisce anche l'evoluzione per fatica attesa per i difetti critici; permettendo così di esprimere giudizi in tempo reale sulla vita operativa effettivamente consumata e su quella residua.

Premessa

Gli apparecchi di sollevamento impiegati nelle attività portuali di carico e scarico "containers" sono sottoposti, dai più recenti capitolati d'appalto, a requisiti sempre più stringenti per quanto riguarda le prestazioni, in termini di velocità di manovra, durata e numero di cicli di carico. L'elevata affidabilità necessaria per garantire tali prestazioni richiede tra l'altro anche una progettazione più mirata all'individuazione di metodologie di ispezione in servizio che permettano di monitorare il comportamento degli elementi strutturali più critici dal punto di vista del potenziale di danneggiamento per fatica. Ciò con l'obiettivo finale di pervenire alla redazione di un Manuale di Ispezione che dovrà accompagnare l'apparecchio nel corso della sua vita operativa.

Un tale Manuale, oltre a segnalare le zone da sottoporre ad ispezione periodica, dovrà indicare e le dimensioni minime dei difetti potenzialmente pericolosi che occorre rintracciare, consentendo così di selezionare la strumentazione più adeguata, e gli intervalli di tempo entro i quali è necessario procedere alle ispezioni. Il valore anche economico di un tale modo di procedere è facilmente intuibile. Conoscere a priori le zone critiche e, in particolare, le dimensioni dei difetti che per fatica possono crescere sino alla criticità, consente di tenere sotto controllo lo stato della macchina con semplici, e soprattutto programmabili, interventi periodici; limitando i punti di ispezione a quelli strettamente necessari. Con ciò si mira, da un lato ad evitare gli arresti non previsti per interventi riparatori, e, in particolar modo, dall'altro lato a poter valutare con la massima attendibilità l'importanza di eventuali difetti, ovvero la capacità dell'apparecchiatura di poter operare in sicurezza anche in loro presenza. Chiaramente il risultato primo di questo approccio vuole essere la riduzione al minimo indispensabile dei tempi di arresto per manutenzione e quindi un maggiore utilizzo della macchina. Un secondo, ma ugualmente importante, risultato di questa metodica risiede però anche nei vantaggi che offre la conoscenza dell'evoluzione dei difetti, acquisita con le successive campagne di ispezione: è infatti immediato dedurre da ciò la vita operativa effettivamente consumata e quindi il potenziale di utilizzo oltre la vita contrattuale che la macchina offre.

Considerazioni progettuali

Le normative usualmente utilizzate per la progettazione di apparecchi di sollevamento, quali le macchine portuali di carico e scarico "Containers", prescrivono la verifica dello stato tensionale massimo, statico o dinamico, e la verifica della resistenza a fatica (Riff. /1/, /2/, /3/ e /4/). Per quest'ultimo aspetto è in generale applicata, sia pure con diverse modulazioni, passando da una normativa all'altra, la legge di Palmgren-Miner. Pertanto, i risultati della verifica a fatica vengono espressi dal rapporto adimensionale tra il numero totale di cicli di progetto ed il numero massimo di cicli che, per la particolare applicazione in esame (cioè, il tipo di giunto), il dato materiale è in grado di sopportare con grado di confidenza definito. Mutuando la terminologia anglosassone, o più specificatamente statunitense, nel seguito ci si riferirà a questo rapporto con il termine di Fattore d'Uso Cumulativo (in sigla: CUF).

Per ciò che riguarda la verifica dello stato tensionale è utile evidenziare che le normative in generale considerano diversi livelli di condizioni di carico (in genere tre livelli). Ciascuno dei quali è caratterizzato da una probabilità via via decrescente che gli eventi in esso considerato si verificano. Conseguentemente, i coefficienti di sicurezza, applicati alla resistenza allo snervamento del materiale per valutarne la tensione ammissibile, si riducono nel passare da un livello di condizioni di carico al superiore. La Tabella 1 fornisce un prospetto dei coefficienti di sicurezza, rispetto allo snervamento, adottati dalle principali normative applicabili. In forma sintetica i risultati della verifica dello stato tensionale sono esprimibili in termini di Margine di Verifica δ , definito come di seguito esplicitato:

$$\delta = 1 - \frac{\sigma_{applicata}}{\sigma_{ammissibile}} \quad [1]$$

Indicando con β il Coefficiente di Sicurezza imposto dalla normativa applicata:

$$\beta = \frac{\sigma_y}{\sigma_{ammissibile}} \quad [2]$$

la precedente espressione del Margine di Verifica δ si trasforma nella seguente:

$$\delta = 1 - \frac{\sigma_{applicata} \cdot \beta}{\sigma_y} \quad [3]$$

In definitiva dunque, i Rapporti di Progetto, conformi alle normative applicabili agli apparecchi di sollevamento, contengono essenzialmente questi due tipi di informazioni,

in relazione a ciascuna delle regioni dell'apparecchio analizzate:

- (a) Il Margine di Verifica dello stato tensionale massimo;
- (b) Il Fattore d'Uso Cumulativo dovuto al ripetersi ciclico degli stati tensionali indotti dalle condizioni di carico operative.

E' a quest'insieme di dati che occorre fare riferimento allorchè si affronta il problema di redigere il Manuale di Ispezione in Servizio.

Considerazioni metodologiche

Per definire le modalità con cui programmare e condurre le campagne di Ispezione in Servizio sono necessarie almeno le seguenti informazioni:

- (1) La conoscenza delle zone critiche, ovvero delle zone in cui il potenziale di difettazione è più elevato;
- (2) La messa a punto di strumenti per calcolare le dimensioni critiche dei difetti e le dimensioni iniziali che questi debbono avere affinché possano accrescersi per fatica sino alle dimensioni critiche;
- (3) La conoscenza delle caratteristiche dei giunti saldati dal punto di vista dell'ispezionabilità (tipo di controllo eseguibile, tipo e sensibilità della sonda, etc.)

Nella presente memoria viene sinteticamente descritto come sono stati affrontati i primi due aspetti nella metodologia messa a punto da ANSALDO SISTEMI INDUSTRIALI per la stesura dei suoi Manuali di Ispezione in Servizio.

E' ovvio che la parte saliente di tutto l'approccio risiede nella determinazione delle dimensioni critiche dei difetti e nelle dimensioni iniziali (cioè ad inizio vita) che questi debbono avere perchè, sottoposti alle evoluzioni cicliche dei carichi operativi previste a progetto, essi possano crescere sino alle dimensioni critiche dette.

Un modo corretto, ma assai poco pratico, in ispecie per gli apparecchi datati per i quali è richiesto tale tipo di intervento, di procedere è senza dubbio quello di analizzare tutte le regioni di interesse strutturale. Con ciò andando a determinare i difetti critici ed i difetti iniziali anche in regioni ove i Margini di Sicurezza sono elevatissimi e i Coefficienti d'Uso Cumulativo assai bassi!

Da un punto di vista ingegneristico è invece più produttivo capire quali regioni sono realmente critiche sotto il punto di vista della difettologia, per limitare gli approfondimenti successivi solamente a quelle.

D'altra parte, com'è stato en passant già accennato, mentre nel caso di nuovi progetti l'analisi globale appare comunque fattibile, ancorchè superflua, semplicemente predisponendo

un opportuno programma di calcolo direttamente in serie agli altri utilizzati per i normali calcoli strutturali; nel caso di progetti già eseguiti non c'è altra strada - a parte quella di ripetere le valutazioni in tutte le zone - che usare un criterio discriminante a priori.

E' comunque opportuno soffermarsi prima un poco sulla metodologia per il calcolo delle dimensioni critiche e dell'accrescimento per fatica dei difetti, in particolare per stabilirne i legami con le due informazioni enucleabili dai rapporti di Verifica: i Margini di Verifica δ e i Fattori d'Uso Cumulativo CUF.

Valutazione dei difetti critici e dei difetti iniziali

Naturalmente, i metodi della Meccanica della Frattura Elastico-Lineare forniscono lo strumento indispensabile per l'esecuzione di tali valutazioni. Essendo essi di uso corrente non ci si soffermerà sopra se non quel poco che appare necessario per fissare i concetti principali di cui si è fatto uso.

Innanzitutto, a causa della peculiarità delle geometrie dei giunti saldati ed in particolare dei piccoli spessori generalmente in gioco, si è fatta la prima grossa approssimazione di trattare tutti gli stati tensionali come membranali. Ciò, mentre da un lato semplifica molto la trattazione matematica ed appare anche a favore della sicurezza, dall'altro non è nemmeno granchè lontano dalla realtà, nel momento in cui si ammetta che un giunto saldato di uno scatolato, ad esempio a sezione trapezoidale, è da considerarsi "collassato" quando il difetto si estende ad un lato intero, interessandolo tutto. In tal caso, pur essendo gli stati tensionali prevalentemente dovuti a momenti flettenti, la tensione agente sul singolo lato può del tutto tranquillamente considerarsi costante nello spessore, a causa dei piccoli valori di quest'ultimo, rispetto alle dimensioni (trasversali e longitudinali) della sezione stessa.

Fatta questa necessaria premessa, è possibile allora esprimere lo Stress Intensity Factor K_I in funzione del Margine di Verifica δ dello stato tensionale in forma assai semplice, ma efficace. Adottando per semplicità la formulazione proposta nei Riff. /5/, /6/ e /7/, si può scrivere:

$$K_I = \frac{\sqrt{a}}{Q_0} \cdot \sigma_m \cdot M_m = \frac{\sqrt{a}}{Q_0} \cdot M_m \cdot [(1 - \delta)/\beta + 1] \cdot \sigma_Y \quad [4]$$

Poichè il difetto ha dimensioni critiche allorchè risulta soddisfatta l'equazione:

$$K_I = K_{IC} \quad [5]$$

è possibile esprimere il difetto critico in funzione delle proprietà del materiale K_{IC} e σ_Y , del Margine di Verifica δ e del Coefficiente di Sicurezza β , imposto dalla normativa applicata. Con la formulazione proposta in Rif. /5/ per il cosiddetto Parametro di Difetto Critico, a_m , si ottiene:

$$a_m = \frac{1}{2\pi \cdot [(1-\delta)/\beta + 0.75]} \cdot (K_{IC} / \sigma_Y)^2 \quad [6]$$

dal quale, volendo prescindere dalle caratteristiche del materiale, K_{IC} e σ_Y , si deriva la definizione di quello che abbiamo chiamato Parametro di Difetto Critico Assoluto, a^*_m :

$$a^*_m = a_m / \Gamma \quad [7]$$

dove:

$$\Gamma = (K_{IC} / \sigma_Y)^2 \quad [8]$$

In Tabella 2 sono mostrati i valori che si ottengono per il Parametro di Difetto Critico Assoluto a^*_m , in funzione del Margine di Verifica δ , assumendo per il Coefficiente di Sicurezza il valore più basso tra quelli prospettati dalle diverse normative considerate (v. Tabella 1): $\beta = 1.1$.

Nota il Parametro di Difetto Critico Assoluto, a^*_m , è sufficiente conoscere la tenacità del materiale K_{IC} e la sua resistenza allo snervamento σ_Y , per determinare le effettive dimensioni critiche di difetti piani in relazione al Margine di Verifica e al Coefficiente di Sicurezza adottato. Ovviamente, ciò dovrà essere fatto imponendo il tipo di difetto (piano, passante, interno) che risulta essere dunque un parametro del calcolo.

Una volta noto il difetto critico, a_c , semplicemente applicando a ritroso la legge di Paris:

$$\frac{da}{dN} = C (\Delta K)^m \quad [9]$$

è possibile valutare le dimensioni iniziali che il difetto deve avere affinché, nel corso della vita operativa dell'apparecchio, possa crescere sino a raggiungere le dimensioni critiche.

La conoscenza di tali dimensioni iniziali è di fondamentale importanza per la taratura della strumentazione da utilizzarsi nelle campagne di Ispezione in Servizio.

Individuazione delle zone critiche

Il punto focale del lavoro qui discusso consiste nell'individuazione a priori delle zone "critiche" dal punto di vista difettologico.

In una struttura complessa, qual'è un apparecchio di sollevamento portuale, si ha una molteplicità di giunti saldati, non solo come numero, ma anche come tipologie.

I risultati delle verifiche strutturali sono inoltre caratterizzate da una notevole dispersione di valori, coprendosi in genere l'intero intervallo possibile sia per il Margine di Verifica δ (da 0 a 1) che per il fattore d'Uso Cumulativo CUF (anch'esso da 0 a 1), e potendosi avere tutte le combinazioni intermedie possibili. In ciò risiede la difficoltà prima di poter esprimere giudizi a priori su quali siano le zone critiche. Infatti, mentre è facile trarre conclusioni per le regioni dove si combinano un basso valore del Margine di Verifica (diciamo, per fissare le idee, $\delta < 0.1$) ed un alto valore del Fattore d'Uso Cumulativo (sempre per fissare le idee, diciamo: $CUF > 0.9$), perchè chiaramente saranno quelle in cui si ottengono sia difetti critici di piccole dimensioni (a causa del basso valore di δ) che difetti iniziali di piccole dimensioni (a causa dell'elevato valore di CUF); più complesso si presenta il discorso per le regioni ove si ha, ad esempio, un elevato valore di δ (e quindi difetti critici di maggiori dimensioni) combinato con un elevato valore di CUF (e quindi difetti iniziali di piccole dimensioni), oppure un basso valore di δ (difetti critici di piccole dimensioni) combinato con un basso valore di CUF (difetti iniziali di maggiori dimensioni), o una qualunque altra combinazione che non si collochi in corrispondenza dell'angolo superiore destro del diagramma di Figura 1.

In tutti questi ultimi casi, che coprono in generale la stragrande maggioranza delle situazioni reali, l'individuazione delle regioni critiche, ovvero da analizzare prima e ispezionare periodicamente poi, è praticamente impossibile a priori, senza mettere a punto dei criteri ad hoc.

Una parziale eccezione a questa affermazione può essere comunque offerta da quei giunti e da quelle zone dell'apparecchio che l'esperienza di esercizio ha dimostrato essere particolarmente sensibili alla difettazione, anche in assenza di stati tensionali apparentemente elevati o di elevati tassi d'uso per fatica. Questo comportamento, ovviamente legato alla particolare tipologia del giunto o alla tecnica di saldatura utilizzata, dovrà comunque essere tenuto presente nella selezione delle zone da ispezionare, rientrando quelle testè citate nel novero, anche se il giudizio non venisse confermato analiticamente.

Al fine di stabilire un criterio per discriminare le regioni da ispezionare, si è esaminata la possibilità di sfruttare le informazioni dei Rapporti di Verifica Strutturale, cioè il Margine di Verifica δ e il Fattore d'Uso Cumulativo CUF, in modo da valutare con considerazioni generali quali combinazioni numeriche di essi possano creare situazioni potenzialmente pericolose. Ovvero sono stati costruiti dei grafici dei difetti iniziali, a_1 , in funzione del Margine di Verifica δ , in corrispondenza a diversi valori di CUF (che compare dunque come parametro).

Naturalmente il difetto iniziale, a_i , non dipende solamente dal Margine di Sicurezza δ e dal Fattore d'Uso Cumulativo CUF, bensì anche: (a) dal tipo di difetto (superficiale, pasante, interno); (b) dal rapporto di forma del difetto (a/l); (c) dalle caratteristiche tensili e di tenacità del materiale (K_{Ic} e σ_y); (d) dalle proprietà di resistenza a fatica del materiale (ovvero, dal coefficiente C e dall'esponente m della legge di Paris - v. equazione [9] - e dall'andamento delle legge di Wöhler).

E' interessante in questo contesto soffermarsi su quest'ultimo aspetto, in particolare per ciò che concerne la legge di Wöhler.

Essa è descritta mediante la formulazione esponenziale dell'andamento dell'ampiezza di tensione in funzione del numero di cicli:

$$N \cdot \sigma_x^m = Z \quad [10]$$

adottata dalle usuali normative di progetto (v. Riff. /8/ e /9/), dove: (1) N è il numero di ripetizioni dell'ampiezza di tensione σ_x che può causare il collasso del giunto con un livello di confidenza predefinito; (2) σ_x è l'ampiezza di tensione; (3) Z ed m sono parametri caratteristici del tipo di giunto, per ogni gruppo di materiali (nelle applicazioni di cui si discute qui si ha che fare con i normali acciai strutturali al carbonio, pertanto i valori di Z e m , forniti ad esempio dal Rif. /8/, sono completamente applicabili). Noto allora lo spettro di carico (N_i, σ_i), il Fattore d'Uso Cumulativo CUF è dato dalla seguente relazione:

$$CUF = \frac{\sum_i (n_i \cdot \sigma_i^m)}{Z} \quad [11]$$

Se, a questo punto, si ricorre alla formulazione della Legge di Paris di accrescimento dei difetti, si osserva che da un punto di vista concettuale si può porre in correlazione il parametro da/dN al parametro CUF, mediante la seguente espressione (v. Rif. /5/):

$$\frac{da}{dN} = C \cdot (\pi \cdot a)^{m/2} \cdot [f(a/t)]^m \cdot \frac{CUF \cdot Z}{N_t} \quad [12]$$

dove N_t è il numero totale di cicli previsti a progetto. Dalla [12], separando le variabili ed integrando, si ottiene infine:

$$\int_{a_i}^{a_f} \frac{da}{C \cdot (\pi \cdot a)^{m/2} \cdot [f(a/t)]^m} = Z \cdot CUF \quad [13]$$

dove a_f e a_i rappresentano il difetto finale ed iniziale, rispettivamente. Il difetto finale è ovviamente funzione del Margine di Verifica δ .

Sfruttando questa formulazione è possibile pervenire a degli andamenti di $a_1 = \text{funz}(\delta, \text{CUF})$ quali quelli mostrati in Figura 2 (ove per generalità è riportato in ordinata il difetto adimensionalizzato, a/t , in modo da prescindere dal particolare valore di spessore). L'utilizzo di tali grafici è immediato: definita la sensibilità della tecnica e della strumentazione prescritta per le ispezioni in servizio, è noto il minimo difetto adimensionalizzato che può essere rintracciato; entrando con tale valore (dopo avergli applicato un opportuno coefficiente di sicurezza) in ordinata nel grafico di Figura 2, si delimita la regione di valori di CUF e di δ in corrispondenza della quale i difetti iniziali che possono crescere sino alle dimensioni critiche hanno dimensioni assai piccole e quindi sono potenzialmente pericolosi. Le zone strutturali in cui la verifica strutturale di base ha evidenziato le coppie di valori (δ, CUF) che ricadono in tale regione sono quelle che dovranno essere analizzate con i Metodi della Meccanica della Frattura, al fine di valutare con accuratezza i difetti critici ed il loro andamento nel tempo, e dovranno essere sottoposte ad ispezione periodica con strumentazione ed intervalli temporali di intervento adeguati.

L'andamento riportato in Figura 2 è relativo a difetti superficiali con rapporto di forma nullo (difetto infinito), nel caso di acciai strutturali del tipo Fe 360, caratterizzati da valori di $K_{Ic} \approx 2300 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-3/2}$ e $\sigma_y = 360 \text{ MPa}$ (dunque: $\Gamma = 40.82 \text{ mm}^2$), e dai seguenti parametri di fatica: $C = 3 \cdot 10^{-13} \text{ mm}^{10/2}/(\text{ciclo}\cdot\text{N}^3)$, $m = 3$ (v. Rif. /5/ § B.4) e $Z = 0.63 \cdot 10^2$ (pari al valore K_2 fornito in Table 8 di Rif. /8/ per il caso, tipico delle applicazioni a cui si fa qui riferimento, di giunto di classe F). È interessante osservare che, nel caso in cui si ammetta di poter rintracciare con elevata confidenza difetti superficiali di profondità pari al 5% dello spessore, sono da considerarsi critiche zone ove il Margine di Verifica δ è superiore a 0.5 e contemporaneamente il Fattore d'Uso Cumulativo CUF è superiore a 0.6.

In Figura 3 è infine mostrato un risultato tipico di valutazione dell'evoluzione per fatica dei difetti potenzialmente critici (per diversi rapporti di forma, e relativamente ai difetti di tipo superficiale) eseguita in una delle zone strutturali selezionate con la metodologia dianzi esposta.

Conclusioni

Le considerazioni qui sopra svolte rappresentano parte integrante di un approccio globale che mira ad estendere agli apparecchi di sollevamento metodiche progettuali più avanzate al fine di migliorarne la qualità e l'affidabilità e prolungarne la vita, senza andare a discapito della sicurezza di esercizio. Con i programmi di Ispezione in

Servizio, messi a punto sulla base dei concetti esposti, è infatti possibile monitorare l'evoluzione della vita della macchina, limitando al minimo gli arresti per interventi manutentivi e/o di riparazione, semplicemente ispezionando periodicamente, con adeguata strumentazione, le zone critiche e tenendo sotto controllo l'evoluzione di eventuali indicazioni.

L'approccio descritto in questa nota è stato messo a punto al fine di redigere i Manuali di Ispezione che Ansaldo Sistemi Industriali fornisce, come corredo della macchina, al cliente. In particolare esso è stato sviluppato, messo a punto ed applicato nell'ambito del progetto degli apparecchi di carico e scarico containers per il porto di Taiwan.

Ovviamente una tale metodologia è applicabile a qualunque altro apparecchio di sollevamento, per il quale siano richieste elevate prestazioni, in termini di velocità di manovra, durata e numero di cicli.

Riferimenti

- /1/ FEDERATION EUROPEENNE DE LA MANUTENTION - SECTION I - Appareils Lourds de Levage et de Manutention - "Règles pour le calcul des appareils de levage" - F.E.M. 1.001 3^{ème} Edition - 1987.10.01.
- /2/ BSI - BS 2573: Part 1: 1977 - "Specification for Permissible stresses in cranes and design rules - Part 1. Structures"
- /3/ CNR 10021-85 - "Strutture di acciaio per apparecchi di sollevamento. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione e la manutenzione".
- /4/ AISC - Manual of Steel Construction - Eighth Edition.
- /5/ BSI - PD 6493:1980 - "Guidance on some methods for the derivation of acceptance levels for defects in fusion welded joints".
- /6/ ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE - SECTION XI - "Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components" - 1986 Edition.
- /7/ WRCB 175 - "PVRC Recommendations on Toughness Requirements for Ferritic Materials" - august 1972
- /8/ BSI - BS 5400: Part 10: 1980 - "Steel, concrete and composite bridges - Part 10. Code of practice for fatigue".
- /9/ CNR 10011-85 - "Costruzioni di acciaio: Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione"

TABELLA 1

Coefficienti di sicurezza rispetto allo snervamento
adottati dalle principali normative applicabili
agli apparecchi di sollevamento

Normativa	Coefficiente di Sicurezza $\beta^{(1)}$		
	Condizioni di Carico		
	I	II	III
FEM	1.50	1.33	1.10
BS 2573 ⁽²⁾	1.50	1.33	1.10
	1.67	1.47	1.23
CNR 10021-85	1.48	1.33	1.12

Note: (1) Il Coefficiente di Sicurezza è così definito:

$$\beta = \sigma_y / \sigma_{\text{ammmissibile}}$$

- (2) Il Coefficiente di Sicurezza va moltiplicato per il reciproco del Duty Factor precisato in Table 1 di BS 2573 (D.F. = 1.0 per la Classe 1, = 0.95 per la Classe 2, = 0.90 per la Classe 3, = 0.85 per la Classe 4). La prima riga di valori è relativa al di struttura compressa, mentre la seconda riga vale nel caso di assenza di compressione.

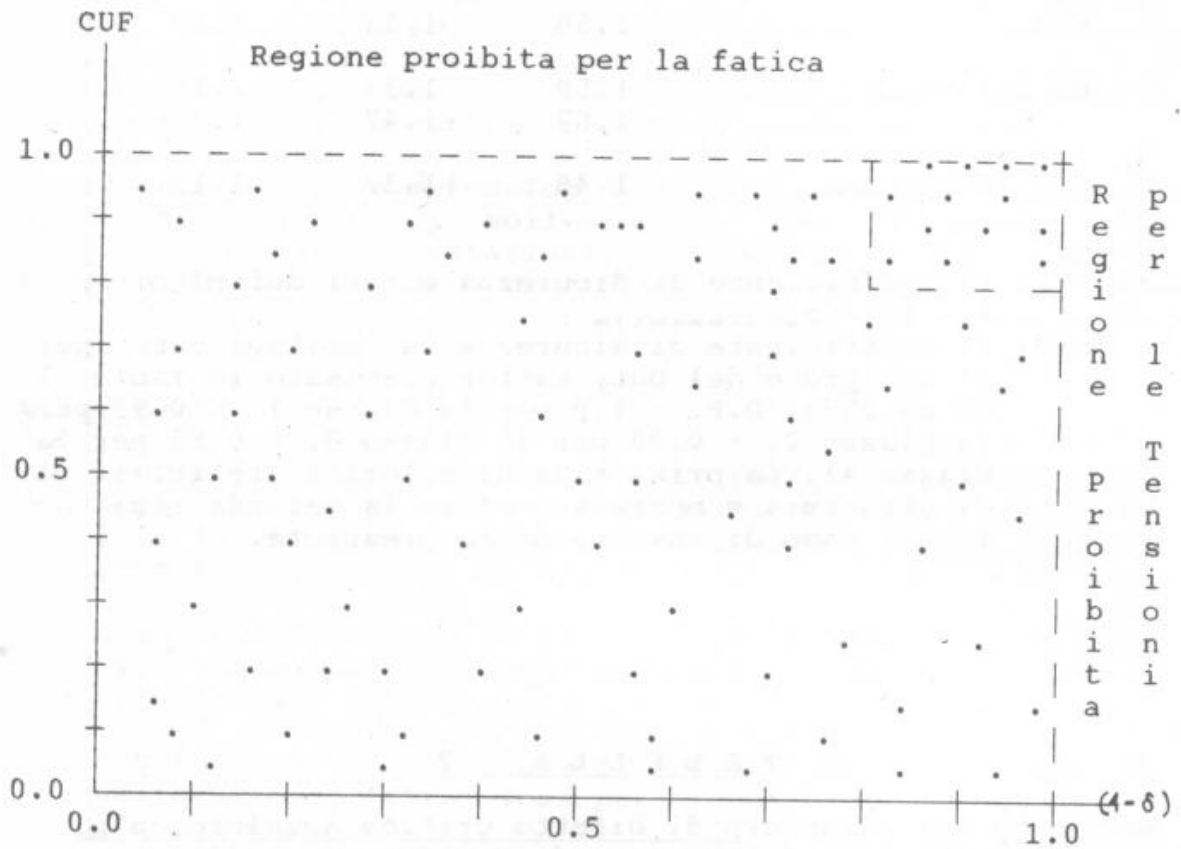
TABELLA 2

Andamento del Parametro di Difetto Critico Assoluto, a^*_m ,
in funzione del Margine di Verifica δ , nella
condizione di carico più severa ($\beta = 1.1$)

δ	$a^*_m \cdot 10^{-2}$
0.0	9.593
0.1	10.149
0.2	10.774
0.3	11.480
0.4	12.286
0.5	13.213
0.6	14.291
0.7	15.562
0.8	17.080
0.9	18.927
1.0	21.221

FIGURA 1

Distribuzione qualitativa delle possibili
coppie di valori (δ , CUF)



F I G U R A 2

Andamento dei difetti iniziali, a_i , e finali, a_{ef} ,
 in funzione del Margine di Verifica, δ , e del
 Fattore d'Uso Cumulativo, CUF,
 nel caso di difetti superficiali
 e di rapporto di forma nullo

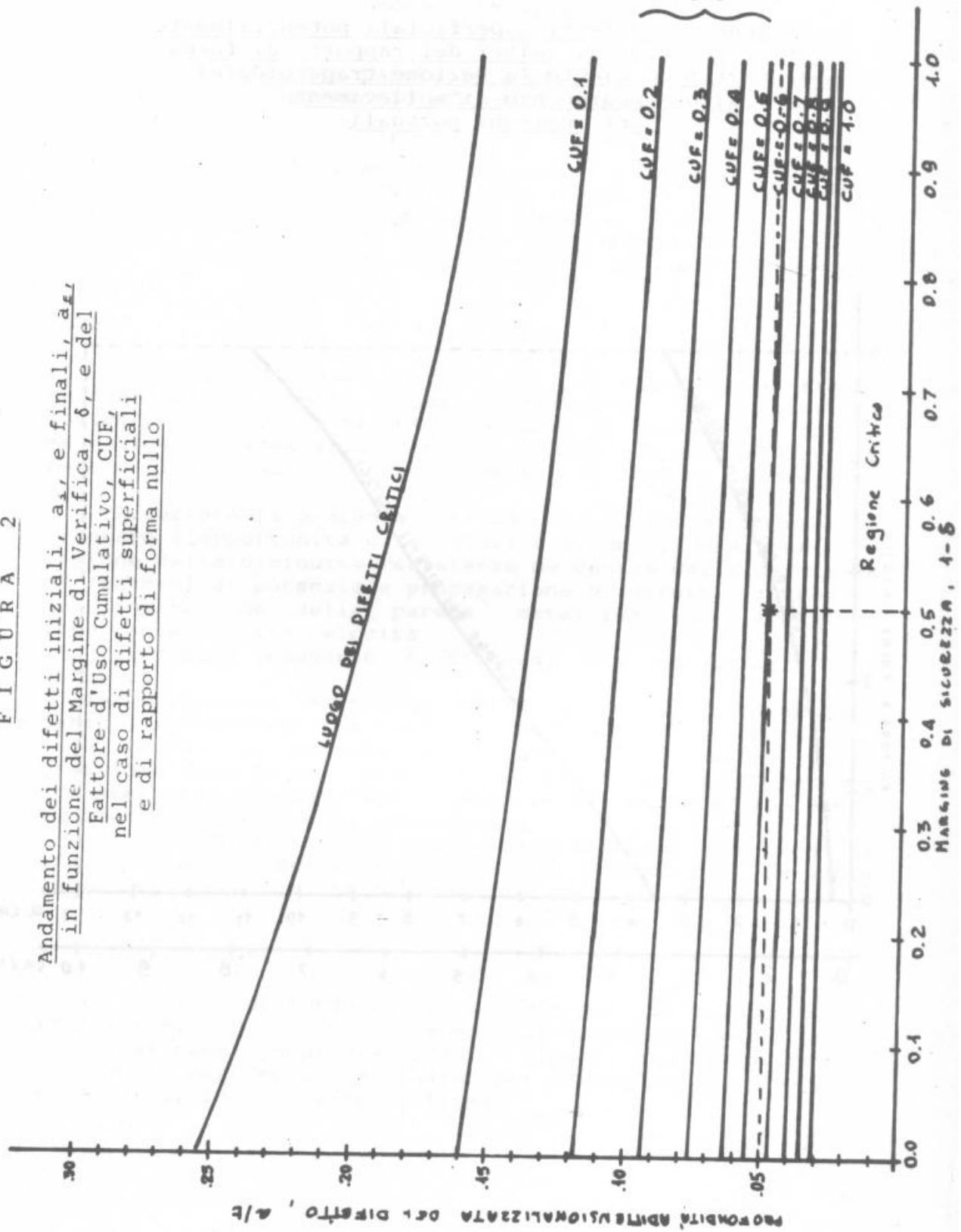


FIGURA 3

Evoluzione dei difetti superficiali potenzialmente critici per diversi valori del rapporto di forma per un tipico giunto (a sezione trapezoidale) di un apparecchio di sollevamento per impieghi portuali

