

**IGF 11 - XI CONVEGNO NAZIONALE
GRUPPO ITALIANO FRATTURA
BRESCIA, 4 - 6 LUGLIO 1995**

**UN SOFTWARE PER LA VERIFICA DI INTEGRITÀ IN STRUTTURE DIFETTATE
CON LA PROCEDURA R6/BSI PD 6493:1991**

A. Mazzeranghi, S. Reale, D. Vangi

Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali, Università di Firenze

Sommario

Viene presentato un software sviluppato nell'ambito di attività connesse con l'analisi di risultati di NDT utilizzando strumenti e metodi della meccanica della frattura.

Tale software, sviluppato in ambiente LabView, è stato strutturato sulla base della norma BSI PD 6493:1991 "*Guidance on methods for assessing the acceptability of flaws in fusion welded structures*".

Il software consente di realizzare la verifica della struttura sia in caso statico (*assessment for fracture*) che nel caso di carichi affaticanti (*assessment for fatigue*).

Il programma è strutturato in modo aperto, disponibile per eventuali implementazioni e consente l'inserimento un qualunque numero di formulazioni specifiche per componenti e difetti; allo stato attuale sono implementati i casi riportati in appendice del PD e alcune delle formulazioni di base (semipiani, piastre etc. con difetti interni, superficiale e passanti).

Premessa

Per analizzare e per valutare i risultati di controlli non distruttivi effettuati con ultrasuoni nell'ambito del Round Robin *Project for Inspection of Steel Components - PISC* - (Reale S., Tognarelli L., *Structural Integrity Approach for PISC Results Evaluation and Comparison: PISC III Action 3*, in "Non Destructive Examination Pratiche and Results", ed. Borloo E. and Lemaître P., EUR 15906 EN, EEC, Brussels, 1994) e per il confronto in ambito europeo fra le prescrizioni sull'accettabilità dei difetti contenute nelle normative per gli impianti nucleari (Reale S., Capurro E., Corvi A., *Comparison of non destructive examination standards in the framework of fracture mechanics approach*, Int. J. Pres. Ves. & Piping, 53(1993); Capurro E., Reale S., Tognarelli L., *Fracture mechanics*

evaluation of in-service inspection acceptance criteria, Int. J. Pres. Ves. & Piping, 63(1995)) è stato introdotto come strumento per caratterizzare diverse situazioni identificate da un difetto di definiti posizione e dimensioni, l'impatto del difetto sulla integrità del componente (*Structural Integrity Significance* del difetto).

La *Structural Integrity Significance* del difetto è data dal fattore di sicurezza della struttura difettata (*Reserve Factor* RF).

Per tale attività è stato sviluppato un software per la valutazione della integrità di una struttura difettata. Per le sue caratteristiche si è preso a riferimento la procedura nota come "R6 rev 3" nella sua opzione 1 e categoria 1 di analisi (Milne I et alii, *Assessment of the integrity of structures containing defects*, Int. J. Pres. Ves. & Piping, 32(1988). La procedura R6, opzione 1 e categoria 1 di analisi, è inoltre utilizzata come "Level 3, Advanced assessment" dalla norma BSI PD 6493: 1991 "Guidance on methods for assessing the acceptability of flaws in fusion welded structures".

Il software, sviluppato in ambiente LabView, è stato realizzato con una architettura aperta e modulare tale da poter essere uno strumento di facile uso che da una parte guidi l'utente alla soluzione di problemi di verifica, dall'altro consenta la soluzione di problemi di verifica caratterizzati da una elevata numerosità di dati di ingresso.

Il software è disponibile, a richiesta, per verifiche, suggerimenti ed ampliamenti. Il software è attualmente sviluppato per le versioni di LabView per Macintosh e per Windows; essendo LabView un ambiente di lavoro multipiattaforma l'espportazione ad altre piattaforme richiede, di principio, solo modifiche di modesta entità.

Architettura e organizzazione del software

Per la procedura R6/PD 6493, le condizioni operative della struttura difettata sono individuate da due parametri adimensionali L_r ed K_r . L_r è dato dal rapporto fra il carico applicato e il carico limite di collasso plastico della struttura difettata; K_r dal rapporto fra il valore del K applicato ed il K critico. Le condizioni limite della struttura, dalla frattura fragile al collasso plastico, sono descritte in modo continuo, nelle coordinate L_r , K_r , da una *Failure Assessment Line* FAL. Nel piano L_r, K_r (*Failure Assessment Diagram* FAD) vengono individuate due zone con la FAL come confine: una zona *Safe*, in quanto se il punto operativo è interno ad essa la struttura è da considerarsi sicura, ed una *Unsafe*, in cui si può avere inizio di propagazione del difetto.

Il RF è misura della "distanza" del punto operativo della struttura difettata dalle condizioni limite; secondo la definizione della procedura, il RF sui carichi primari, valutabile con le modalità in essa indicate, è dato dal rapporto fra i valori che assumono

le tensioni primarie in corrispondenza della FAL ed i valori delle tensioni primarie applicate.

La valutazione della integrità nel caso di carichi affaticanti può essere effettuata utilizzando una legge di accrescimento del difetto, usualmente la legge di Paris, e descrivendo nel piano L_r , K_r l'evoluzione del punto rappresentativo della struttura in funzione del numero di cicli, dell'entità delle variazioni dei carichi ecc. La condizione critica è identificata, anche in questo caso, dal passaggio dalla zona *Safe* a quella *Unsafe*.

Il software sviluppato presenta una struttura modulare aperta costituita da un programma base preposto alla gestione dei sottoprogrammi ed alla visualizzazione dei risultati e da due sottoprogrammi, uno per la gestione degli input ed uno per il calcolo (Figura 1).

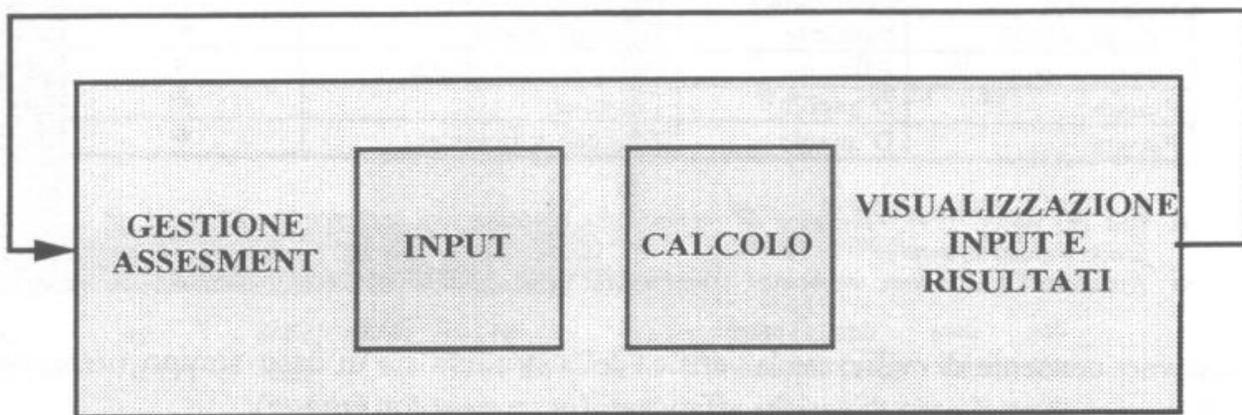


Figura 1 Schema della struttura del software

Il sottoprogramma di input consente una gestione guidata del problema con indicazione dei casi per i quali è disponibile la soluzione indicando la combinazione di componente/difetto/stato di tensione considerata, gli algoritmi risolutori (in qualche caso fornendo anche soluzioni alternative per uno stesso insieme componente/difetto), ed i limiti della formulazione. Inoltre, a livello di input, vengono richiesti solo i dati che verranno effettivamente utilizzati nella risoluzione della particolare combinazione componente/difetto/stato di tensione. Gli input possono, in alternativa, essere forniti direttamente da file di testo; questo può consentire di ridurre i tempi connessi con la fase di input e di eseguire in serie soluzioni di casi diversi. In questo caso, anche i risultati vengono memorizzati su file di testo per la eventuale utilizzazione successiva.

Il sottoprogramma di calcolo è strutturato sulla base di un insieme di procedure di calcolo, ognuna dedicata ad uno specifico insieme difetto/componente/stato di tensione, per la valutazione di K_r ed L_r e di una serie di parti a comune per la valutazione del Reserve Factor.

La struttura modulare del software consente una facile implementazione di nuovi insiemi componente/difetto/stato di tensione e dei relativi algoritmi di risoluzione; i casi implementati allo stato attuale ed le fonti dei relativi algoritmi risolutori sono indicati in tabella I.

Tab. I - Casi implementati nel software e fonti dei relativi algoritmi risolutori

| Componente | Difetto | Stato di tensione | Fonte |
|-----------------|--------------|----------------------|-------|
| Piastra sottile | Interno | Qualunque | ★ |
| Piastra sottile | Superficiale | Qualunque | ★ |
| Gusci curvi | Interno | Pressione interna | ★ |
| Gusci curvi | Superficiale | Pressione interna | ★ |
| Piastra sottile | Passante | Tensione piana | ◆ |
| Piastra sottile | Passante | Deformazione piana | ◆ |
| Piastra | D'angolo | Tensione | ◆ |
| Piastra | D'angolo | Tensione e flessione | ◆ |

★ BSI PD 6493: 1991, "Guidance on methods for assessing the acceptability of flaws in fusion welded structures"

◆ Anderson T L, "Fracture mechanics - Fundamentals and Applications, CRC Press, 1991"

Il software consente di realizzare la verifica della struttura sia in caso statico (*assessment for fracture*) che nel caso di carichi affaticanti (*assessment for fatigue*).

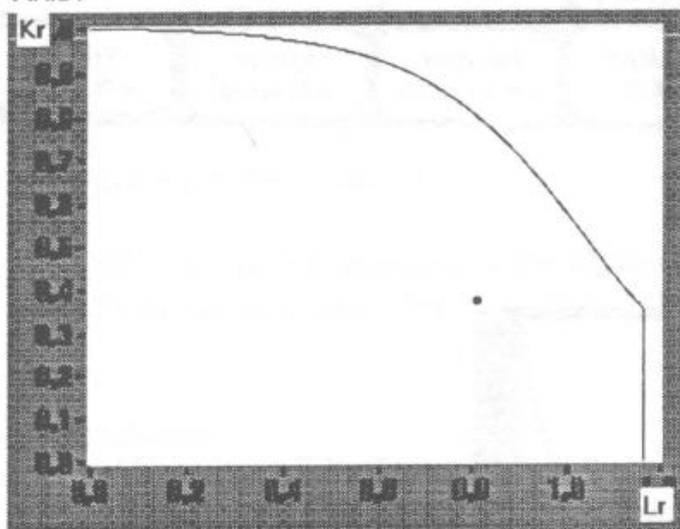
Nel caso di verifica statica gli input sono il tipo di difetto e di componente, le loro dimensioni, lo stato di tensione (tensioni primarie e secondarie, membranali e flessionali) e le caratteristiche del materiale (tensione di snervamento, tensione di rottura, tenacità a frattura), gli output sono i valori di L_r , K_r , la condizione (safe/unsafe) della struttura, il Reserve Factor. Viene anche visualizzata la posizione del punto rappresentativo nel FAD (figura 2)

Nel caso di verifica per carichi affaticanti si devono aggiungere per gli input i valori minimi e massimi delle tensioni ed i parametri della legge di Paris. Il calcolo viene realizzato utilizzando la legge di Paris prevedendo l'avanzamento del difetto in tutte le direzioni; l'integrazione della legge di Paris può essere effettuata sia sull'avanzamento del difetto (in generale) che sul numero di cicli. Gli output sono il numero di cicli a frattura, le curve dimensioni del difetto-numero di cicli e il percorso dei punti rappresentativi nel FAD al crescere del difetto (Figura 3).

La struttura del software e le modalità di input/output consentono di utilizzarlo in modo diretto come sottoprogramma all'interno di procedure più articolate.

ASSESSMENT FOR FRACTURE

F.A.D.



| Kr | Lr | SAFE/UNSAFE | RF |
|-------|-------|-------------|------|
| 0,375 | 0,811 | safe | 1,44 |

DO AN ASSESMENT

GO TO INFO

DATA

| | | | | | |
|--------|--------|--------|------|--|--|
| a | c | p | | | |
| 5,00 | 10,00 | 0,00 | | | |
| B | W | D | | | |
| 40,00 | 100,00 | 0,00 | | | |
| sy | su | Kmat | | | |
| 300,00 | 400,00 | 4743,0 | | | |
| spm | spb | ssm | ssb | | |
| 200,00 | 100,00 | 300,00 | 0,00 | | |

Figura 2 Output tipico dell'assessment for fracture

Una procedura già messa a punto consente di valutare, in termini probabilistici gli effetti sulla valutazione dell'integrità strutturale delle incertezze sulla stima delle dimensioni dei difetti ottenuta dai controlli non distruttivi. La procedura combina il metodo MonteCarlo con il software di base. Fra i dati di ingresso viene considerata, oltre la variabilità delle dimensioni dei difetti, anche quella dei carichi e delle caratteristiche meccaniche del materiale. I risultati sono la distribuzione dei RF e nel caso di carichi affaticanti, la distribuzione del numero di cicli a rottura.

Più in generale l'approccio può essere utilizzato in problemi di simulazione del processo di avanzamento di un difetto o in problemi di meccanica della frattura probabilistica.

ASSESSMENT FOR FATIGUE

ASSESSMENT NAME

PROVA

| | | | |
|--------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| SHOW INPUT DATA | PRINT a-N | PRINT F.A.D. | PRINT INPUT DATA |
| REMOVE F.A.D. | REMOVE a-N Diagram | SHOW c-N Array | SHOW a-N Array |

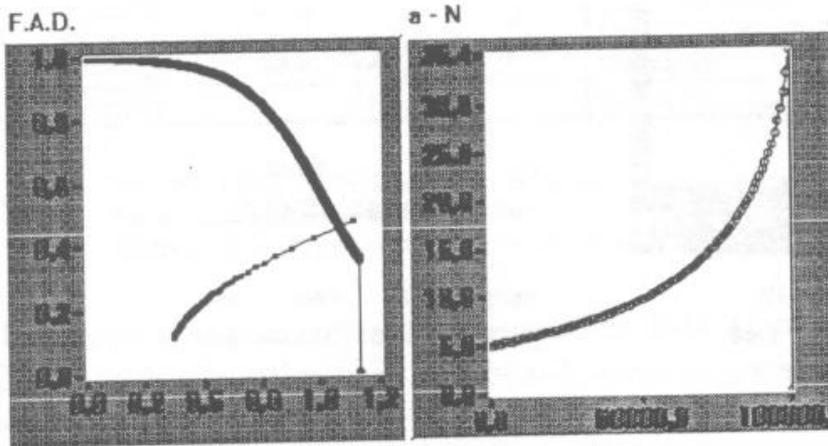


Figura 3 Output tipico dell'assessment for fatigue