

**GRUPPO
ITALIANO
FRATTURA (IGF)**



**IV CONVEGNO NAZIONALE
Milano 26-27 maggio 1988**

**VALUTAZIONE CON LA MECCANICA DELLA FRATTURA DELLA
ACCETTABILITA' DI DIFETTI SECONDO I CONTROLLI NON DISTRUTTIVI**

F.Alicino*, E.Capurro*, A.Corvi*, G.Majorana*, S.Reale*

- ANSALDO S.p.A. - Genova
- Dipartimento di Meccanica - Università di Ancona
- * Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali
Università di Firenze

SOMMARIO

Oggetto della attività è confrontare, con gli strumenti della Meccanica della frattura, il grado di affidabilità dei criteri di accettazione dei difetti indicati nelle normative o procedure dei Controlli non distruttivi.

Più in generale scopo della attività è stato analizzare e mettere in evidenza le connessioni ed interazioni fra le valutazioni con i Controlli non distruttivi e le valutazioni con la Meccanica della frattura.

Il lavoro descrive l'impostazione generale della attività ed alcuni dei risultati ottenuti, evidenziando in particolare modo le potenzialità dell'approccio.

METODOLOGIA E BASI PER LA VALUTAZIONE

Nell'affrontare il problema della valutazione dei criteri di accettazione dei Controlli non distruttivi con la Meccanica della frattura è opportuno tenere presente che le problematiche connesse ai Controlli non distruttivi sono sostanzialmente individuate dalla definizione delle condizioni geometriche locali della zona soggetta al controllo. Una valutazione con la Meccanica della frattura comporta ulteriori definizioni di carattere "funzionale" quali la conoscenza delle condizioni operative di funzionamento della struttura e la definizione delle condizioni di collasso.

E' quindi necessario definire preventivamente sia un quadro funzionale che, all'interno di questo, condizioni cui far riferimento. Tale quadro deve avere le caratteristiche di essere coerente al suo interno, correttamente delimitato, pur senza perdere una sua generalità, per quanto riguarda il componente da prendere a riferimento in termini sia di geometria che di funzione. In questa ottica si è ritenuto di fare riferimento a una situazione ben identificabile e che possa rappresentare per le sue caratteristiche di convergenza di molteplici competenze un esempio significativo di un'analisi che integri gli approcci propri dei Controlli non distruttivi e della Meccanica della frattura.

L'analisi è stata finalizzata alla valutazione dei criteri di accettazione dei Controlli non distruttivi eseguiti sul componente in fabbricazione. Pertanto le Normative o le Specifiche prese in considerazione si riferiscono esclusivamente ai Controlli non distruttivi eseguiti in fase di fabbricazione e non sono stati presi in considerazione difetti, e relative Normative, insorti nel corso della installazione o durante la conduzione dell'impianto.

Selezionate le Normative e le tecniche di controllo, è possibile, con riferimento ai criteri di accettazione dati dalle Normative, individuare i "massimi difetti ammissibili", dove per "massimo difetto ammissibile", si intende il massimo difetto che si può pensare presente in una struttura che abbia superato l'ispezione con i Controlli non distruttivi.

Effettuare una valutazione con la Meccanica della Frattura comporta dover disporre di ulteriori dati. Coerentemente al quadro sopra delineato, si sono individuate le condizioni di riferimento in termini delimitati ma pur sempre generali o generizzabili.

Una volta definiti, nei loro termini essenziali, i dati di riferimento, è possibile effettuare con la Meccanica della frattura la valutazione della sicurezza e della funzionalità strutturale di una struttura supposta difettata con il massimo difetto ammissibile secondo i criteri di accettabilità dei Controlli non distruttivi. Ciascun criterio di accettazione dei Controlli non distruttivi fornisce il suo "difetto ammissibile".

A parità di altre condizioni, il grado di sicurezza e di funzionalità strutturale dello stesso difetto può essere considerato caratterizzante il criterio di accettazione dei Controlli non distruttivi. Pertanto la valutazione con la Meccanica della frattura può essere considerata uno strumento idoneo per effettuare valutazioni e confronti fra le specifiche dei Controlli non distruttivi.

Definiti i termini del problema e le modalità di approccio, è quindi possibile valutare l'*assessment* della struttura presa in esame, nella quale si ipotizza presente il "difetto ammissibile" correlato alla Normativa sui Controlli non distruttivi, e quindi, in ultima analisi, valutare il grado di affidabilità dei criteri di accettazione che sono in essa contenuti.

CONDIZIONI DI RIFERIMENTO

Struttura e sue condizioni operative

L'attività si è riferita ad Impianti raffreddati a sodio (Liquid Metal Fast Breeder Reactors). Si è fatto riferimento a componenti costituenti il circuito primario e/o costituenti la barriera di tenuta del sodio del circuito primario. Di tali componenti si è fatto riferimento in particolare a giunti saldati con saldature tipo testa-testa, a piena penetrazione, rasate, eseguite su acciaio inossidabile austenitico. Sono stati considerati, in quanto significativi, spessori del giunto da 10 a 70 mm. La fig. 1 rappresenta schematicamente il giunto.

Il componente è stato individuato come componente di Classe 1. Vengono considerate condizioni di esercizio "normali" (livelli A e B con la Normativa ASME) con temperature non superiori a 400 °C.

L'analisi è quindi ristretta alle prescrizioni relative a componenti che operano a temperature per le quali il fenomeno del creep non è rilevante o più in generale per condizioni in cui il comportamento strutturale dei componenti è governato da proprietà tempo-indipendenti del materiale.

In conformità a un approccio sia di tipo conservativo che, per quanto possibile svincolato dal particolare componente e dalla sua particolare storia o modalità operative, ci si pone in condizione di inizio vita. Viene considerata come condizione di collasso per la struttura (o condizione di criticità), l'inizio della propagazione, stabile od instabile, del difetto oppure il collasso plastico per raggiungimento del carico limite nel legamento della sezione difettata in assenza di propagazione del difetto.

Per motivazioni analoghe, non è stato preso in considerazione quanto relativo a carichi ciclici e quindi connesso ai fenomeni della fatica. I carichi di tipo ciclico sono infatti in genere legati alle modalità di conduzione dello specifico impianto e quindi non sufficientemente generalizzabili. Essi inoltre da un punto di vista di applicazione della Meccanica della frattura sono rilevanti essenzialmente per una valutazione dell'avanzamento del difetto; valutazione non necessaria anche per aver preso a riferimento le condizioni di inizio vita e come condizione di criticità l'inizio di propagazione del difetto.

Difetti massimi ammissibili

Nella definizione delle tipologie di un difetto, si possono introdurre due livelli di indagine: un primo livello relativo alla possibilità del difetto di essere fisicamente presente nella struttura, un secondo livello nel quale si analizza la possibilità di identificare il difetto per poi non accettarlo od accettarlo a certe condizioni. Il primo stadio fa riferimento agli aspetti metallurgici e tecnologici del materiale, del processo di fabbricazione e, in generale, a quanto può essere correlato alla possibilità di creazione di un difetto, il secondo è legato per la identificabilità del difetto al tipo, sensibilità e risoluzione delle Tecniche di Controllo utilizzate, per la accettabilità o meno alle Normative.

Sono state prese in esame due Normative:

- Normativa francese, in quanto adottata per la costruzione del Superfenix 1 (Electricité de France "Cahier des prescriptions - CGP - relatives à la mise en oeuvre des matériaux")
- Normativa italiana, in quanto adottata per la costruzione del PEC (N.I.R.A. S-ZA-E-5000," Specifica tecnica generale - sostanzialmente conforme alla Normativa ASME).

Le due Normative sono state scelte in quanto si è ritenuto rappresentativo effettuarne un confronto. Infatti sono fondate su differenti modi di considerare le tecniche di Controlli non distruttivi di interesse per il caso preso a riferimento (controllo radiografico ed ultrasonoro), e quindi comportano differenti criteri di accettazione dei difetti sia per quanto riguarda le dimensioni che le proporzioni di tali difetti.

Selezionate le tecniche di controllo, è possibile, con riferimento ai criteri di accettazione dati dalle Normative, individuare per ciascun spessore della struttura di riferimento (giunto saldato) i "massimi difetti ammissibili".

Non sono stati presi in considerazione i difetti "bidimensionali" in quanto per i componenti in livello di qualità 1, oggetto della presente analisi, tali difetti non sono mai ammessi. Non sono stati altresì considerati i difetti "tridimensionali tondeggianti" e i difetti "a grappolo o diffusi" in quanto l'esame di tali difetti è di

scarsa rilevanza dato che le dimensioni ammesse per tali difetti sono minori delle dimensioni ammesse per i difetti allungati. In conclusione l'esame delle Normative, delle metodologie di controllo non distruttivo perse a riferimento e delle specifiche ad esse correlate, ha identificato quali tipologie di difetti ammissibili i "difetti tridimensionali allungati" (rapporto lunghezza / larghezza maggiore di tre) e, ove previsto, anche i "difetti affioranti". Le dimensioni di tali difetti ammissibili sono riportate nelle Tabelle I,II,III,IV, per i vari casi identificati dal tipo di tecnica di controllo (ultrasuoni o radiografia) e dalla Normativa (ASME o Normativa francese CPFC).

Va osservato come i dati desunti dalle Normative e riportati nelle tabelle, non siano immediatamente utilizzabili per una valutazione con la Meccanica della frattura. Risulta necessario effettuare preliminarmente, una riqualificazione dei dati tenendo nel debito conto da un lato i risultati provenienti dai Controlli non distruttivi, dall'altro la forma da dare alle informazioni affinché siano gestibili in termini di un approccio con la Meccanica della frattura.

In particolare per una sua utilizzazione in una valutazione con la Meccanica della frattura, un difetto viene caratterizzato attraverso:

- la forma. I difetti, ammessi dalla Normativa dei Controlli non distruttivi solo in quanto tridimensionali, vengono considerati bidimensionali. Il difetto, se superficiale, è caratterizzato come un semiellisse, se interno come un ellisse. Le dimensioni dell'ellisse, o del semiellisse, sono state assunte pari a quelle della sezione massima dei difetti ammissibili riportate nelle tabelle.
- l'orientazione ed il piano di giacitura. Si assume come piano di giacitura del difetto il piano longitudinale rispetto al cordone di saldatura. Non sono stati presi in esame difetti trasversali, orientati cioè perpendicolarmente all'asse del giunto saldato, in quanto la loro presenza non è giustificabile dai processi di saldatura. Il difetto si suppone orientato ortogonalmente alla direzione della tensione di trazione.
- la posizione nel giunto. Trattandosi di un giunto saldato, il difetto viene ipotizzato presente nel metallo base (situazione di riferimento e di confronto), nella ZTA e nel materiale di saldatura.
- la posizione nello spessore. Si considera il difetto sempre collocato nel semispessore con tensione flessionale positiva. Per i difetti interni la posizione del difetto nello spessore, non viene presa in considerazione dalle Normative. La Norma parla infatti solo di difetti affioranti od interni. Si rende quindi necessaria, per un approccio con la Meccanica della frattura, una analisi che consideri la posizione nello spessore del difetto ammissibile un parametro variabile.
- se isolato o meno. Le tecniche di Controllo non Distruttivo e le Normative prese a riferimento, consentono di poter sempre considerare come isolato il difetto definito come ammissibile.

Caratteristiche meccaniche del materiale

L'identificazione di un materiale ai fini di una analisi con la Meccanica della frattura avviene attraverso la conoscenza dei parametri meccanici standard e dei parametri specifici caratterizzanti il comportamento a frattura del materiale.

Dato che lo studio viene eseguito su di un giunto saldato, l'identificazione del "materiale" costituente il giunto significa la caratterizzazione del materiale base, della ZTA e del materiale costituente la saldatura.

Questo comporta una estrema varietà di situazioni possibili, in quanto le caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti il giunto sono fortemente influenzate, specie per quanto riguarda la tenacità a frattura, anche dal tipo di processo di saldatura usato e dai trattamenti termici a cui il giunto è soggetto nel corso del processo di saldatura e successivamente ad esso.

Quindi una corretta identificazione del materiale prevederebbe una analisi accurata da effettuarsi caso per caso; analisi che si presenta nella generalità dei casi non facile o immediata, sia per la carenza di dati disponibili che per le difficoltà sperimentali per ottenerli.

Scopo della attività è di eseguire con la Meccanica della frattura una verifica di idoneità dei criteri di accettabilità dei Controlli non distruttivi e non una verifica della affidabilità di uno specifico giunto in specifiche situazioni. Si deve quindi soddisfare la esigenza di definire correttamente il materiale, o i materiali, costituenti il giunto, senza d'altro lato perdere le caratteristiche di generalità che una tale verifica deve, per quanto possibile, mantenere.

Al fine di soddisfare queste esigenze, si è ritenuto significativo fare riferimento ad un insieme di caratteristiche, "verosimili" da un punto di vista ingegneristico, dove per "verosimile" va inteso un insieme di dati conformi a quanto mediamente trovato sperimentalmente e reperibile in documenti di riferimento e di larga utilizzazione in ambito tecnico.

Con tali premesse, si sono considerati i valori riportati dalle normative di progetto e dalle procedure di Meccanica della frattura. Si sono quindi completate in modo organico ed omogeneo le indicazioni delle normative utilizzando quanto reperibile nella letteratura tecnica. A tale scopo è stata effettuata una specifica e mirata ricerca bibliografica.

La tabella V riporta in forma sintetica le caratteristiche meccaniche di riferimento del materiale base e del materiale di saldatura per le due temperature di interesse. Non sono stati riportati in tabella valori relativi alla ZTA. La caratterizzazione meccanica della ZTA, si presenta nella maggior parte dei casi problematica e di tali difficoltà risentono gli scarsi dati reperiti; in generale si nota come, nei giunti in acciaio inossidabile, i valori relativi alla ZTA siano intermedi fra quelli del metallo base e quelli della saldatura con una certa tendenza ad avvicinarsi ai valori del metallo base. Ciò ha portato a non considerare nel seguito la ZTA, ritenendo l'analisi del comportamento del metallo base sufficientemente indicativa anche del comportamento della ZTA.

Tale quadro di riferimento non intende rappresentare una situazione effettiva, relativa cioè ad un particolare giunto saldato, ma risulta costruito al fine esclusivo di formare un insieme congruente al suo interno e idoneo a costituire un riferimento significativo per le successive valutazioni di *assessment*.

Stato di tensione

Conformemente ai criteri generali seguiti per la definizione delle condizioni di riferimento, la definizione delle condizioni di carico e la valutazione dello stato di tensione ad esso conseguente, vengono effettuate con riferimento a Normative, ed in particolare a Normative di progetto in quanto l'attività è finalizzata alla valutazione con la Meccanica della frattura dei criteri di accettazione dei Controlli non distruttivi eseguiti sul componente in fase di fabbricazione.

Dato il tipo di componente preso a riferimento e per coerenza con le Normative usate per i Controlli non distruttivi, sono state prese in considerazione:

- la normativa ASME - Boiler and Pressure Vessel Code - Section III Nuclear Power Plant Components ;
- la normativa francese Association Francaise pour les Règles de Conception e de Construction des Matériels des Chaudières Eletro-nucléaires " Règles de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires RNR-RCC-MR " Tomo I vol B.

Seguendo le indicazioni delle normative, le tensioni vengono distinte in primarie (generali e locali) e secondarie. In queste ultime, per le loro caratteristiche possono essere aggiunte le tensioni residue.

Le tensioni sono inoltre classificabili in generali, che agiscono sulla intera struttura, locali, che interessano una parte estesa ma limitata, di picco, che interessano una zona estremamente localizzata.

Vengono prese in considerazione tensioni generali e locali; a queste vanno aggiunte le tensioni di picco. Ipotizzando, per motivi di generalità di indagine, di essere lontano da pronunciate discontinuità, viene preso in considerazione delle tensioni di picco, solo quanto è correlabile ad effetti localizzati prodotti da gradienti termici. Va comunque osservato che le tensioni di picco, nel caso in esame, sono in generale di entità poco rilevante date le condizioni "normali" di servizio in cui ci si è posti.

Le tensioni vengono ipotizzate ad andamento lineare nello spessore. Il profilo viene così individuato da una componente uniformemente distribuita nello spessore uguale al valore medio delle tensioni nello spessore (σ_m tensione membranale) e dalla componente variabile linearmente nello spessore (σ_b tensione flessionale)

Nel definire l'entità delle tensioni membranali e flessionali è opportuno effettuare una distinzione fra tensioni primarie e tensioni secondarie + residue, in quanto diverse sono le loro origini e i loro effetti.

Le tensioni primarie sono originate dai carichi agenti sulla struttura e quindi sono caratterizzabili attraverso le indicazioni delle normative di progetto.

Vengono presi quindi come valori di riferimento per le tensioni primarie valori coerenti con quelli massimi ammessi dalla normativa, considerando tale assunzione come conservativa nei confronti di ogni altra scelta o situazione di progetto e quindi sufficientemente generalizzabile.

Dai limiti riportati per i carichi primari dalle normative (ASME e RCC-MR) risulta per le tensioni primarie (σ_{pm} , σ_{pb})

$$\sigma_{pm} + \sigma_{pb} = 1,5 \sigma_d$$

avendo indicato con σ_d un valore di riferimento per la tensione di progetto legato alle caratteristiche a trazione del materiale. Il valore di σ_d viene scelto con le stesse modalità con cui le normative definiscono la tensione ammissibile.

Per quanto riguarda le tensioni secondarie (generali, locali, di picco e residue), si assume come valore di riferimento il limite fisico a cui queste possono arrivare, limite identificabile con il raggiungimento di una tensione di riferimento σ_{yd} che viene assunta pari alla flow stress.

Quindi per le tensioni secondarie (σ_{sm} , σ_{sb}) si ha:

$$\sigma_{sm} + \sigma_{sb} = \sigma_{yd}$$

Tale assunzione è in accordo, in modo conservativo, con la prassi di considerare le tensioni residue costanti nello spessore e pari alla tensione di snervamento.

Fissato il valore per la somma delle tensioni membranali e flessionali sia primarie che secondarie, l'identificazione completa dello stato di tensione comporta definire l'entità di ciascuna di esse.

Tale definizione dovrebbe essere effettuata, in conformità ai criteri generali, in base alla onerosità nei confronti del rischio di collasso.

La molteplicità delle combinazioni possibili dei valori delle tensioni membranali e flessionali, unita alla varietà delle situazioni per collocazioni e dimensioni del difetto, non consentono di individuare una unica combinazione delle tensioni che

sia ugualmente onerosa in ogni caso. Questo fatto, unito alla esigenza di dover definire uno stato di tensione che sia di riferimento per poter effettuare correttamente confronti fra situazioni diverse, suggerisce la opportunità di considerare come "stato di tensione di riferimento" un insieme di configurazioni di stati di tensione ciascuna delle quali soddisfi le condizioni limite sopra individuate e che nel loro complesso possano essere considerate rappresentative per tutte le possibili configurazioni.

Con queste premesse è stato individuato come "stato di tensione di riferimento" l'insieme delle configurazioni riportate in tabella VI

Dalle caratteristiche di riferimento del materiale di Tabella V, si ricavano, per i diversi casi caratterizzati dal materiale e dalla posizione ipotizzata del difetto, i valori delle tensioni σ_d e σ_{yd} riportati in tabella VII.

VALUTAZIONE CON LA MECCANICA DELLA FRATTURA

La Procedura R6

Effettuare una valutazione di sicurezza e di funzionalità strutturale con la Meccanica della frattura comporta oltre all'indicare le condizioni da considerare critiche o di collasso anche il definire il criterio con il quale effettuare la valutazione.

L'aver considerato come materiale un acciaio inossidabile austenitico porta a dover considerare approcci di Meccanica della frattura di tipo Elasto-plastico e fra questi privilegiare quelli che utilizzano come parametro descrittivo e caratterizzante il comportamento a frattura l'integrale J.

Per la valutazione se e di quanto la struttura nelle condizioni di carico e di difettosità considerate sia lontana dalle condizioni definite come critiche, è da ritenersi significativamente utilizzabile la procedura sviluppata dal CEBG inglese "Assessment of the integrity of structures containing defects" nella ultima revisione (nota con il nome R6 rev.3) sia per le caratteristiche e la struttura, sia per la diffusione in ambito internazionale, che per la utilizzazione in sede Ansaldo.

Il metodo considera i meccanismi della frattura fragile insieme ai meccanismi della rottura duttile.

Tutte le situazioni, dalla rottura fragile al collasso plastico, sono descritte da una curva, la Failure Assessment Line nei parametri K_r ed L_r .

K_r è definito come il rapporto fra il valore di K (Stress Intensity Factor) per le condizioni di carico cui è soggetta la struttura difettata ed il valore della tenacità a frattura del materiale; L_r è definito come il rapporto fra le condizioni di carico cui è soggetta la struttura e le condizioni che causano il collasso plastico della struttura difettata.

Nel piano descritto dai parametri K_r , L_r nei quali è dato il Failure Assessment Diagram (FAD), si hanno due regioni con la Assessment Line come frontiera. Le condizioni operative di una struttura con un difetto di ampiezza a sono rappresentate dai termini L_r e K_r . Questi possono essere riportati sul piano del FAD come coordinate di un punto. Se questo punto è situato all'interno dell'area delimitata dagli assi e dalla Assessment Line, la struttura può essere considerata sicura. Se il punto cade sulla linea o fuori di essa, si può ammettere la possibilità della rottura (fig. 2).

Tale approccio risulta pertanto gestibile in termini "topologici", consentendo analisi e confronti "analogici". Questa possibilità, peculiare della procedura R6, risulta particolarmente interessante per una valutazione generale attraverso la Meccanica della frattura dei risultati dei Controlli non distruttivi.

Per la definizione della FAD viene utilizzata la opzione-1 indicata dalla R6 La FAD è quindi descritta da:

$$K_r = (1 - 0.14 L_r^2) (0.3 + 0.7 \exp(-0.65 L_r^6))$$

La procedura indica le modalità per la determinazione sia di L_r che di K_r

Casi valutati

Dall'esame dei dati caratterizzanti le condizioni di riferimento, emerge la molteplicità dei casi da prendere in esame.

Sono state, infatti, considerate due tecniche di controllo non distruttivo, gli ultrasuoni ed il controllo radiografico, e, per ciascuna di queste, due normative.

Al variare dello spessore, da 10 a 70 mm, ciascuna norma indica un difetto ammissibile, superficiale ed interno. Il difetto, poi, può essere ipotizzato presente nel materiale base o nella zona saldata in due differenti condizioni di temperatura.

Ogni combinazione degli elementi sopra indicati configura uno specifico caso, per un totale quindi di 112 casi da valutare (fig. 3a) e successivamente da analizzare o confrontare.

All'interno di ciascun caso, vengono considerate situazioni che sono diverse l'una dall'altra se considerate in termini di Meccanica della frattura, ma che, ai fini delle successive analisi, non è stato considerato significativo considerare separatamente.

Definiscono la singola situazione all'interno del caso la posizione del difetto se superficiale o interno (nel caso di difetto interno, la posizione nello spessore) e lo stato di tensione. In totale, considerando 8 posizioni all'interno dello spessore e 5 situazioni di stato di tensione, ogni caso è costituito da 45 diverse situazioni (fig. 3b).

Caratterizzare una particolare configurazione attraverso la R6, comporta calcolare in funzione dei dati di ingresso le coordinate (L_r , K_r) del punto rappresentativo della configurazione e collocare il punto nel FAD.

Analogamente, caratterizzare il singolo caso significa collocare nel FAD relativo, la nube dei punti rappresentativi delle configurazioni che costituiscono il caso.

I confronti fra i vari casi possono essere fatti, per via "analogica", attraverso il confronto nel FAD fra le collocazioni e le dimensioni delle rispettive nubi e la analisi della loro posizione relativa nei riguardi della Assessment line.

Data la notevole quantità di casistiche da valutare e di calcoli da svolgere, si è reso necessario mettere a punto un codice di calcolo espressamente dedicato al tipo di valutazioni richieste.

Il codice gestisce i dati di ingresso, introdotti in forma matriciale, configura volta a volta il caso e, al suo interno, la situazione da valutare, definisce il FAD proprio del caso, calcola i valori di L_r e K_r , ricaratterizza, se necessario, il difetto, rappresenta graficamente la nube dei punti calcolati nel FAD. I risultati del codice di calcolo sono restituiti sotto forma di tabella e di grafico. Si riporta in fig 4 un grafico a titolo di esempio.

Valutazioni ed analisi dei risultati

Appare evidente, anche ad un primissimo esame dei grafici e tabulati, come la notevole quantità di risultati disponibili e la ricchezza di informazioni in essi contenute, renda difficile operare delle sintesi esaustive.

Sono infatti possibili analisi diverse e confronti a più livelli, ciascuno dei quali mette in evidenza alcuni aspetti delle problematiche di interesse e può suggerire spunti ed indicazioni per ulteriori analisi o per diverse modalità di effettuare i confronti.

Si è pertanto circoscritta e limitata l'indagine ad un primo livello di analisi volta sostanzialmente ad evidenziare le potenzialità dei risultati ottenuti, mettere a punto

modalità di gestione e confronto, effettuare una prima valutazione generale dei criteri di accettabilità dei Controlli non distruttivi.

In questo livello di analisi è stato privilegiato l'approccio "analogico" reso possibile ed efficace dalla potenzialità "topologica" offerta dalla procedura R6 utilizzata.

I confronti fatti e le considerazioni svolte sono quindi di tipo sostanzialmente "qualitativo", anche se i risultati e la procedura R6 consentono valutazioni "quantitative". Si rimandano le valutazioni "quantitative" ad una eventuale, più mirata, successiva analisi.

In via preliminare, per effettuare un qualsiasi primo screening, si rende necessario operare una "riduzione" dei risultati, l'estrazione cioè da ogni gruppo di risultati di un numero limitato di dati atti a caratterizzarlo in forma sintetica.

Ogni caso è rappresentato da una nube di punti nel FAD. Coerentemente all'approccio "topologico" scelto ogni nube di punti, quindi ogni caso, è caratterizzabile dalla "posizione" della nube all'interno del FAD e dalla dispersione dei punti costituenti la nube.

La posizione della nube è individuabile dal baricentro dei punti, mentre la dispersione può essere visualizzata tracciando un'ellisse con centro il baricentro e tale da comprendere i punti della nube. In una analisi più "quantitativa" o, comunque, in una valutazione automatica e quindi meno soggettiva, le dimensioni e l'orientazione dell'ellisse possono essere calcolate mettendole in relazione ad indici di dispersione (per esempio gli scarti quadratici medi) rispetto al baricentro dei punti costituenti la nube.

La figura 5 riporta, a titolo di esempio, i baricentri relativi ad un materiale ed una temperatura; la figura 6 effettua il confronto per i materiali e le temperature considerate.

La figura 7 evidenzia le variazioni dovute allo spessore, le figure 8 e 9 mettono a confronto, per gli spessori estremi, a parità di tecnica, gli ultrasuoni, le due normative.

OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Quanto descritto rappresenta un esempio di possibili analisi e dà un saggio delle potenzialità offerte dalla Meccanica della frattura per una valutazione dei criteri di accettabilità dei Controlli non distruttivi. Più in generale la attività svolta può essere vista come un esempio di come si possono integrare gli approcci propri dei Controlli non distruttivi e della Meccanica della frattura.

La logica che sta alla base dei criteri di accettazione dei Controlli non distruttivi è di tipo "passa o non passa". Il discriminante fra le due situazioni trova sostanzialmente la sua giustificazione nella stratificata esperienza che sta a monte della norma e nella intrinseca conservatività delle scelte.

Affrontare una analisi dei Controlli non distruttivi con gli strumenti della Meccanica della frattura, significa introdurre un criterio "quantitativo" di valutazione. Attraverso la Meccanica della frattura risulta infatti possibile effettuare confronti, individuare gerarchie, trovare il peso ed il significato effettivo delle scelte.

La Meccanica della frattura rappresenta quindi un possibile punto di partenza per una analisi critica e non soggettiva della normativa offrendo una base ed uno strumento di riesame e di unificazione. La presente attività intende avere dato un contributo in tale direzione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ALSTHOM - ATLANTIQUE - NIRA Division NEYRPIC Bloc Reacteur - BR 356,
"Specification pour le controle par ultrasons des joints soudes", N. CRE1 4101 422
QY 2004 rev A.
- ALSTHOM - ATLANTIQUE - NIRA Division NEYRPIC Bloc Reacteur - BR 356,
"Specification pour le controle raddiographique des joints soudes", N. CRE1 4101
422 QY 2002 rev A.
- ANSALDO D.B.G.V., "Esame radiografico delle saldature", N. PEC C02 - 01 Q 1203 rev 0
- ANSALDO D.B.G.V., "Esame con ultrasuoni di saldature a piena penetrazione. L.QW. 1-2",
N. PEC C02-01 Q 1206 rev 1
- ASME Boiler and Pressure Vessels Code, Sect. III, Rules for construction of nuclear
vessels, ASME
- ASME Boiler and Pressure Vessels Code, Sect. V, ASME
- ASME Boiler and Pressure Vessels Code, Sect. XI, Rules for inservice inspection of
nuclear power plant components, ASME.
- ELECTRICITE' DE FRANCE, "Cahier des prescriptions de fabrication et de controle",
Edition Javier 1976
- Harrison R P et al, "Assessment of the integrity of structures containing defects",
R/H/R6 - rev 2, CEGB 1980
- Milne I et all, "Assessment of the integrity of structures containing defects",
R/H/R6 rev 3, CEGB, may 1986
- Milne I et all, "Background to and validation of CEGB report R/H/R6 rev 3", R/H/R6
rev 3 validation, CEGB, jan 1987
- Milne I, "Assessment of the integrity of structures containing defects - Addendum
for structures made of material with a high capacity for work hardening",
R/H/R6 rev 2 add 1, CEGB dec 1984
- N.I.R.A. S-ZA-E-5000, "Specifica tecnica generale.
PD 6493 : 1980, "Guidance on some methods for the derivation of acceptance levels
for defects in fusion welded joints", BSI 1980
- RCC-MR, "Regles de conception et de construction des materials mecaniques des ilots
nucleaires", RNR, tomo 1, vol B, AFCEN, Juin 1985
- TECHNICATOME - Code Qualite 1ere Partie, "Cahier general des Prescription (CGP)
relatives a la mise en oeuvre des materiaux".
- UNI 7278 - 74, "Gradi di difettosità nelle saldature testa a testa riferiti al controllo
radiografico"

TABELLA I - Controllo ultrasonoro - Dimensioni dei massimi difetti ammessi dalle ASME

Spessore della saldatura (T)	Lunghezza del cilindro (L)	Diametro del cilindro	Intaglio	
			Lungh.	Prof.
10 mm	6.3 mm	2.4 mm	6.3 mm	0,2 mm
20 mm	6.5 mm	2.4 mm	6.5 mm	0,4 mm
30 mm	10.0 mm	3.0 mm	10.0 mm	0,6 mm
40 mm	13.5 mm	3.0 mm	13.5 mm	0,8 mm
50 mm	16.5 mm	5.0 mm	16.5 mm	1.0 mm
60 mm	19.0 mm	5.0 mm	19.0 mm	1.2 mm
70 mm	19.0 mm	5.0 mm	19.0 mm	1.4 mm

TABELLA II - Controllo ultrasonoro - Dimensioni dei massimi difetti ammessi dalle CPFC

Spessore della saldatura (T)	Lunghezza del cilindro (L)	Diametro del cilindro	Profondita' intaglio.
10 mm	20.0 mm	1.2 mm	Non previsto.
20 mm	20.0 mm	1.2 mm	Non previsto.
30 mm	20.0 mm	1.2 mm	Non previsto.
40 mm	20.0 mm	1.2 mm	Non previsto.
50 mm	20.0 mm	1.2 mm	Non previsto.
60 mm	20.0 mm	1.2 mm	Non previsto.
70 mm	20.0 mm	1.2 mm	Non previsto.

TABELLA III – Controllo radiografico - Dimensioni dei massimi difetti ammessi dalle ASME

Spessore della saldatura (T)	Lunghezza del cilindro (L)	Diametro del cilindro	Incisioni marginali.
10 mm	3.5 mm	0.2 mm	Non ammesso.
20 mm	6.0 mm	0.4 mm	0.3 mm
30 mm	6.0 mm	0.6 mm	0.5 mm
40 mm	6.0 mm	0.8 mm	0.5 mm
50 mm	6.0 mm	1.0 mm	0.5 mm
60 mm	6.0 mm	1.2 mm	0.5 mm
70 mm	6.0 mm	1.4 mm	0.5 mm

TABELLA IV – Controllo radiografico - Dimensioni dei massimi difetti ammessi dalle CPFC

Spessore della saldatura (T)	Lunghezza del cilindro (L)	Diametro del cilindro	Incisioni marginali.
10 mm	3.5 mm	* 1.1 mm	Non ammesso.
20 mm	6.0 mm	1.5 mm	0.3 mm
30 mm	6.0 mm	1.5 mm	0.5 mm
40 mm	6.0 mm	1.5 mm	0.5 mm
50 mm	6.0 mm	1.5 mm	0.5 mm
60 mm	6.0 mm	1.5 mm	0.5 mm
70 mm	6.0 mm	1.5 mm	0.5 mm

TABELLA V – Caratteristiche meccaniche di riferimento

		mat. base		saldatura	
		t.a	370°C	t.a	370°C
tensione snervamento	MPa	260	150	450	320
tensione rottura	MPa	620	490	630	480
Tenacità	Jc	250	130	60	50
	K _{0.2}	220	150	105	90

TABELLA VI – Stati di tensione di riferimento

σ_{pm}	σ_{pb}	σ_{sm}	σ_{sb}
1 σ_d	0	σ_{yd}	0
1 σ_d	0	0	σ_{yd}
0	1.5 σ_d	σ_{yd}	0
0	1.5 σ_d	0	σ_{yd}
0.75 σ_d	0.75 σ_d	0.5 σ_{yd}	0.5 σ_{yd}

TABELLA VII – Tensioni ammissibili

		mat. base		saldatura	
		t.a	370°C	t.a	370°C
tensione σ_d	MPa	170	135	170	135
tensione σ_{yd}	MPa	440	320	440	320

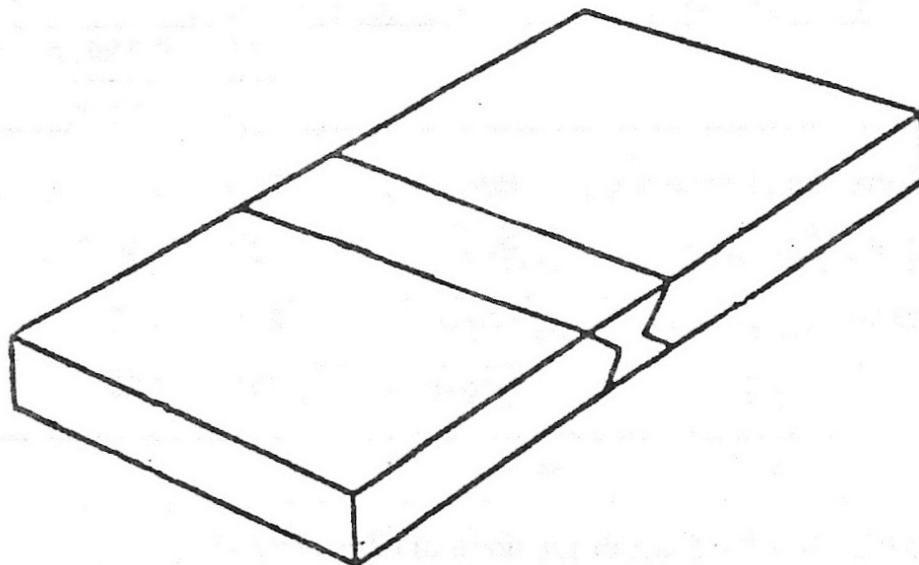


Figura 1

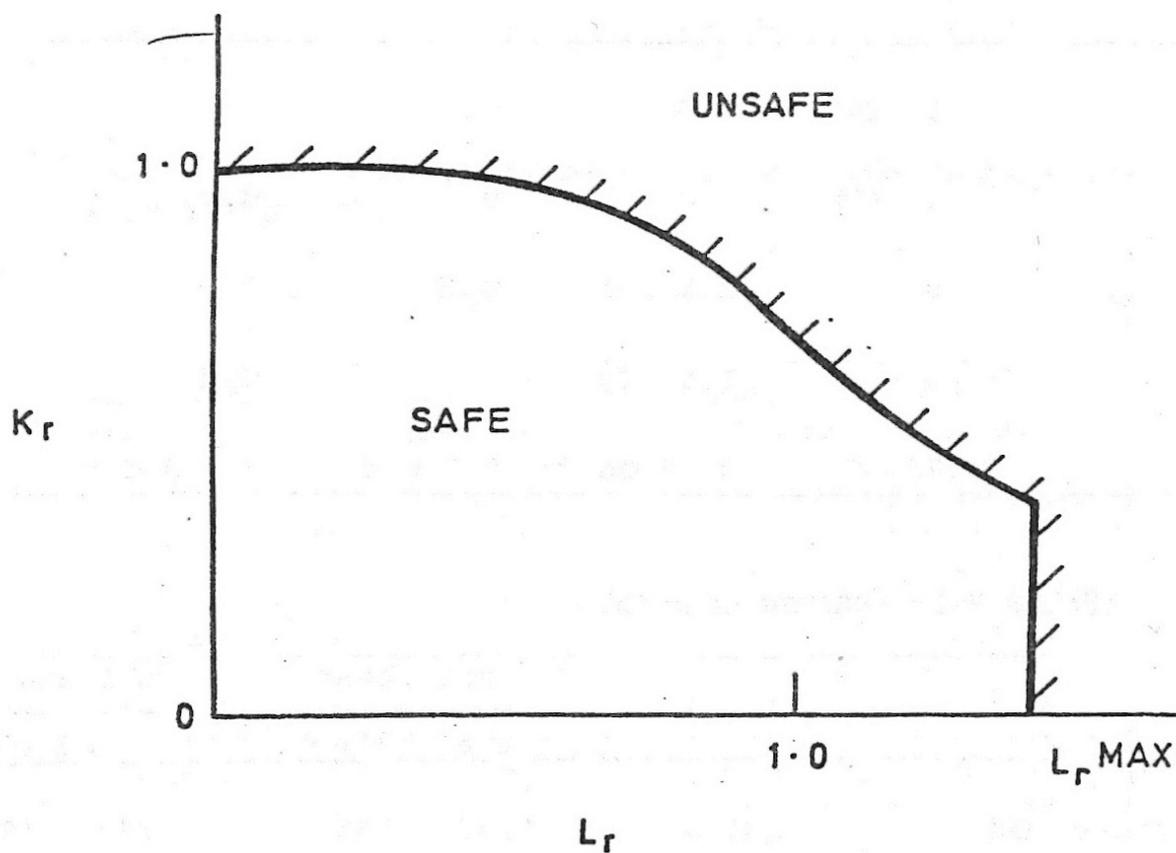
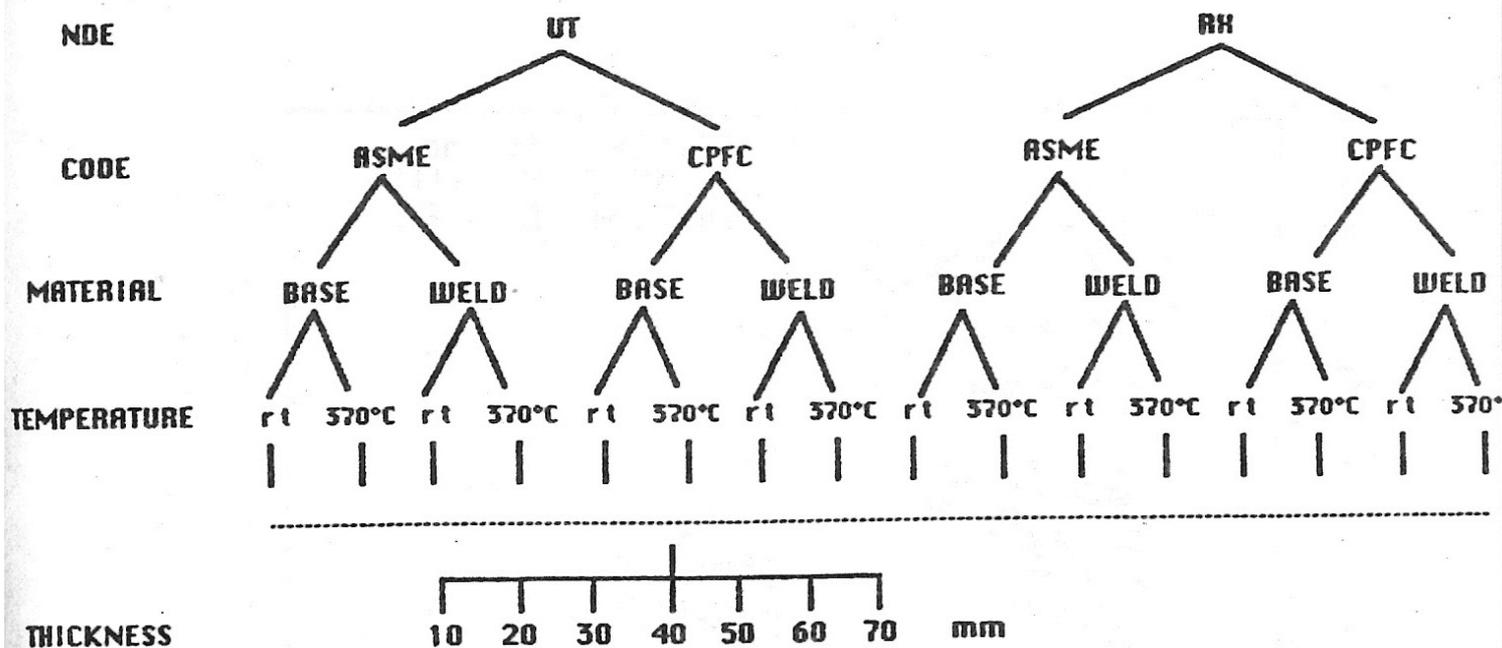


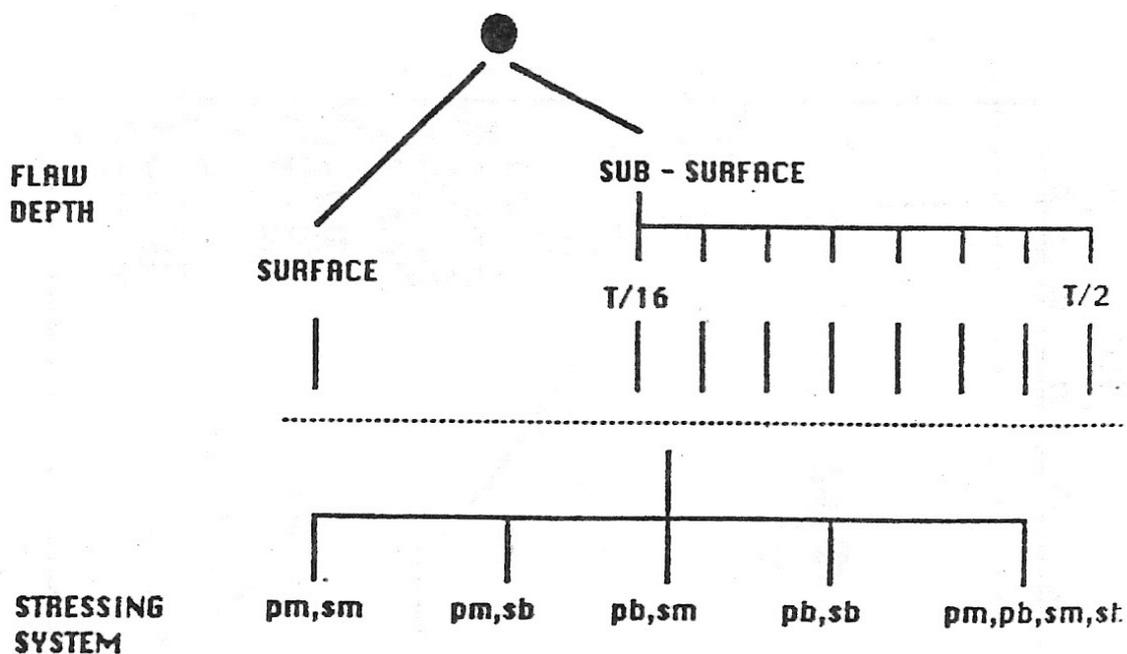
Figura 2



Tot. n. 112 cases

Figura 3a

CASE : NDE CODE MAT. TEMP. THICK.



Tot. n. 45 arrangements

Figura 3b

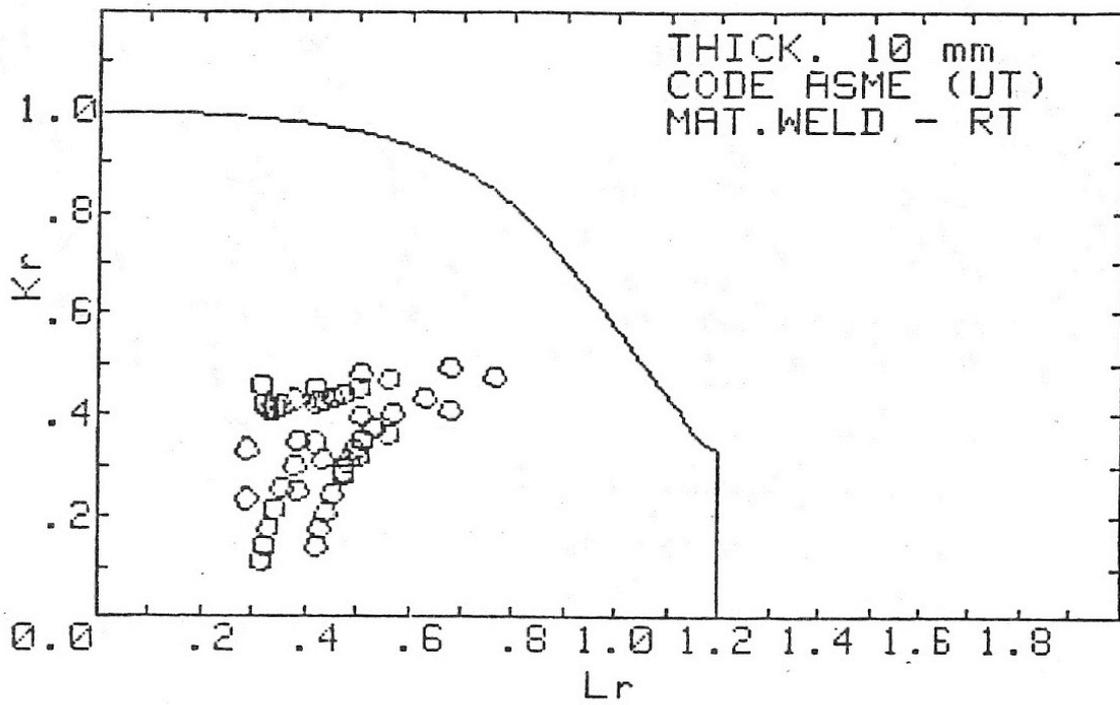


Figura 4

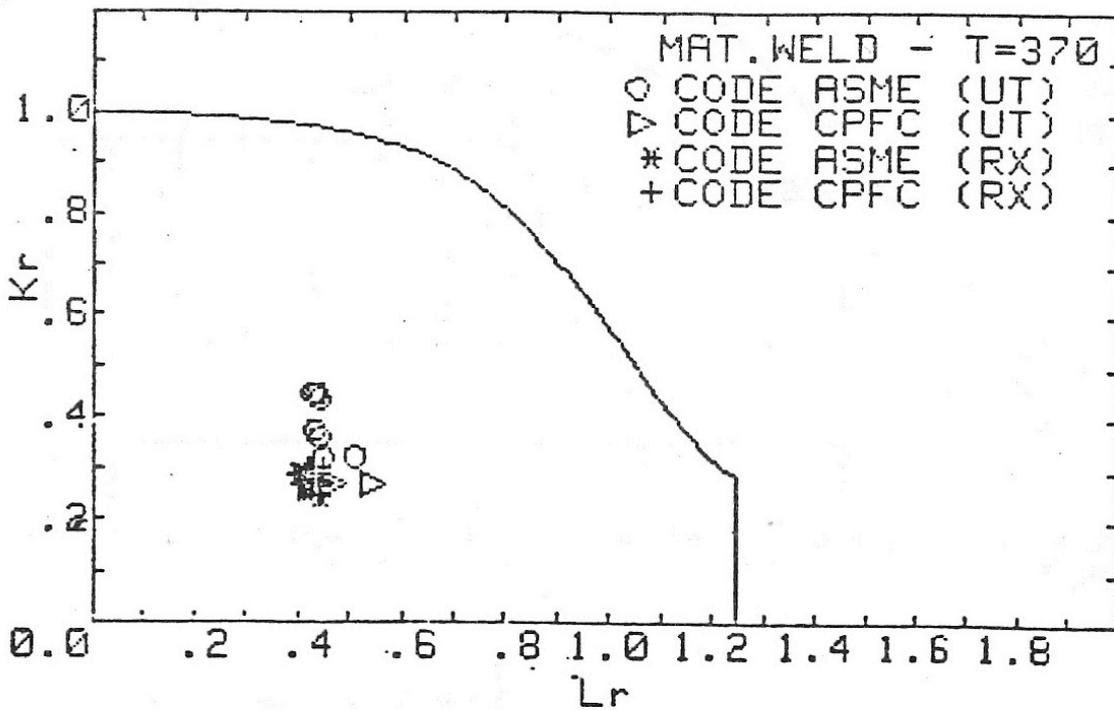


Figura 5

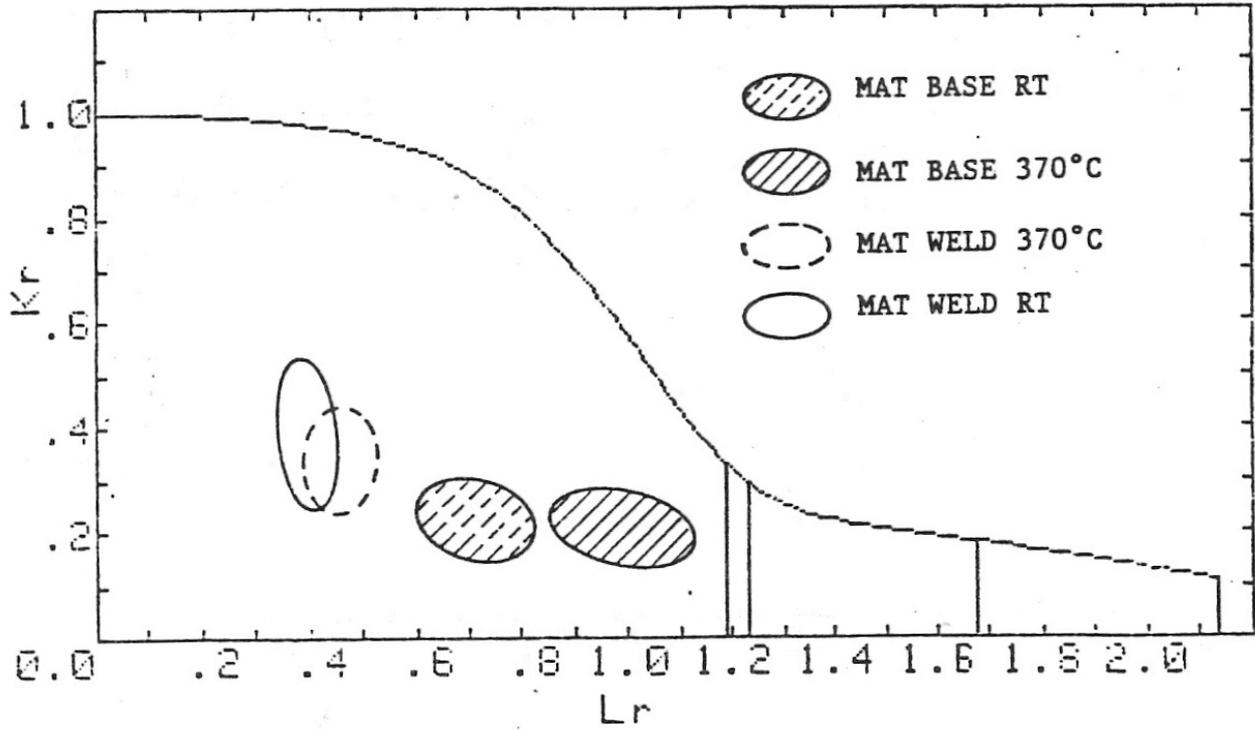


Figura 6

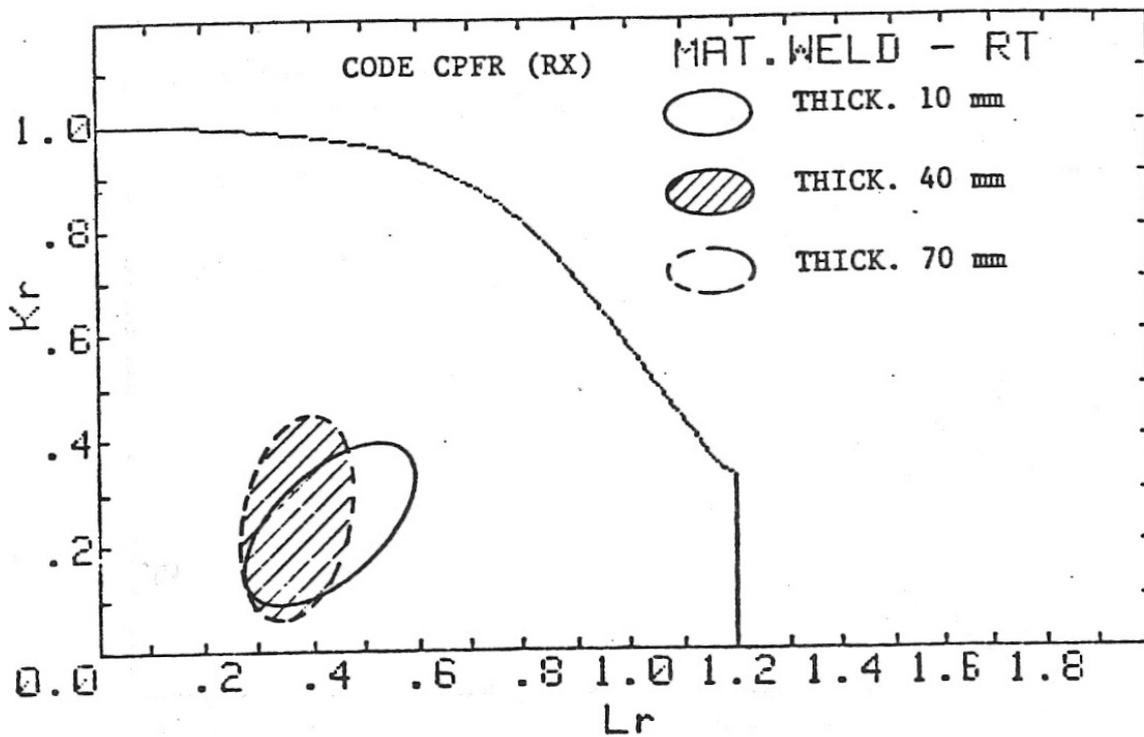


Figura 7

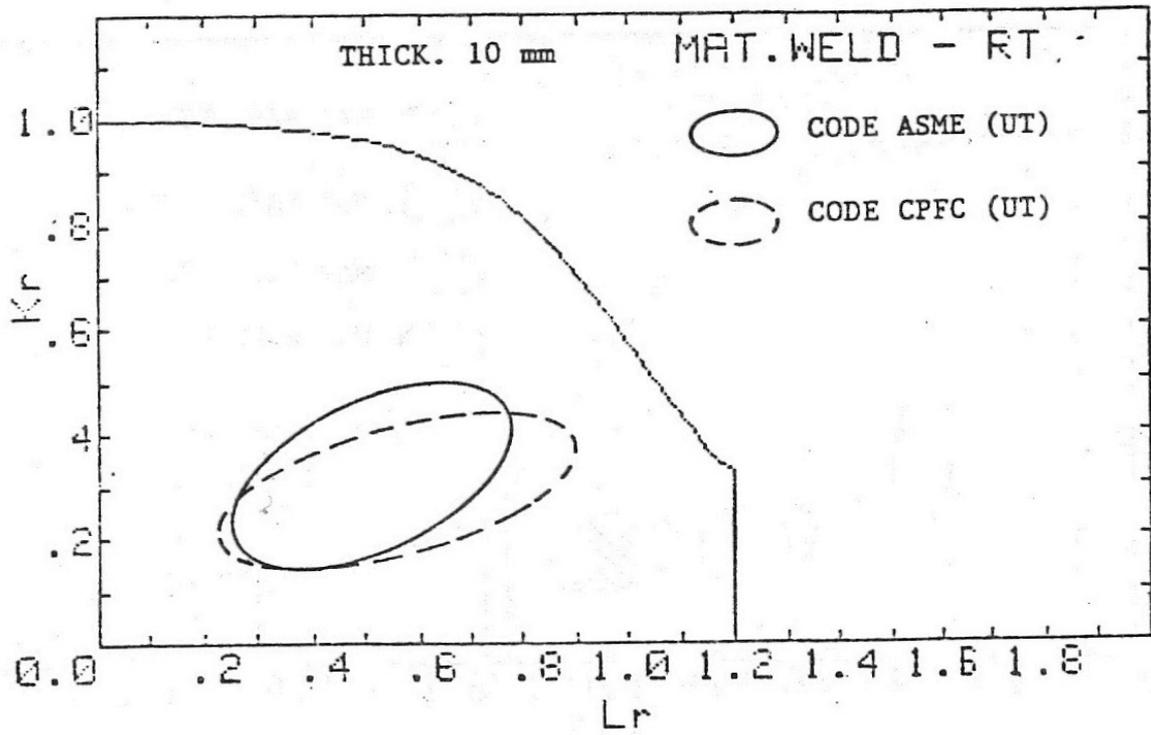


Figura 8

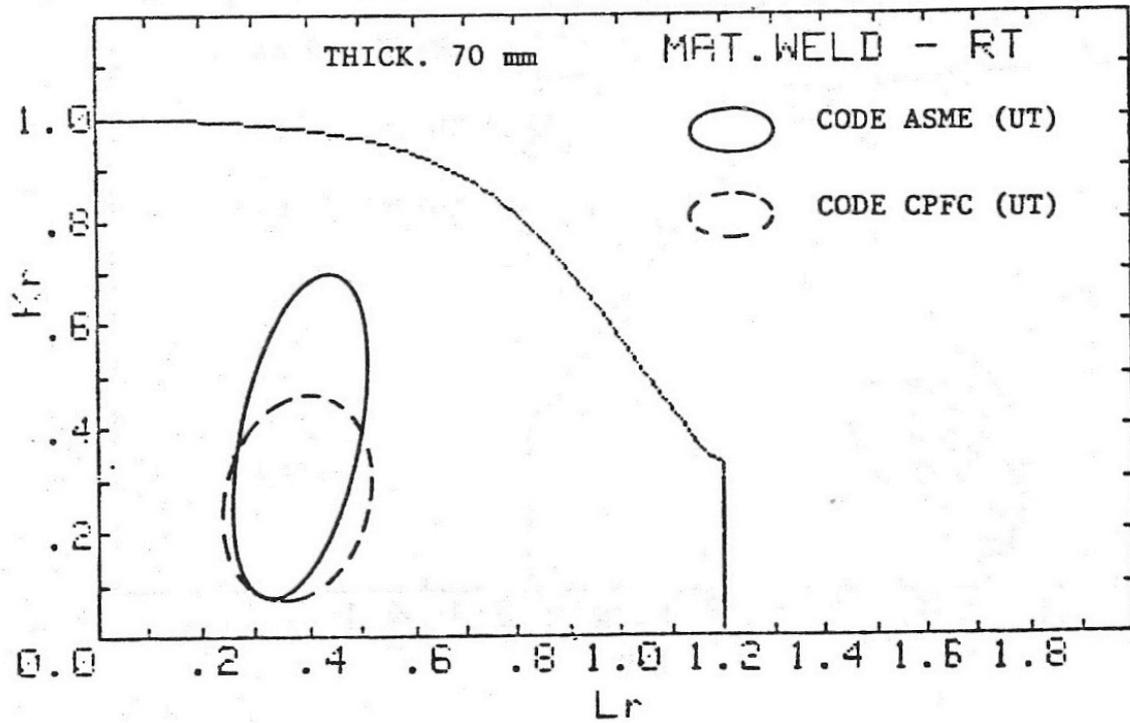


Figura 9