

IGF6 - VI Convegno Nazionale

GRUPPO ITALIANO FRATTURA

Ancona, 7-8 giugno 1990

ANALISI DI ROTTURE PER TENSOCORROSIONE IN TUBAZIONI DI VAPORE

S.Berti, R.Merloni, E.Quadrini, D.Taddei(*)

Dipartimento di Meccanica Università degli Studi di Ancona

Via delle Breccie Bianche, 60131 Ancona

(*) Meccano S.p.A. Fabriano (AN)

SOMMARIO

Si studiano alcune fratture caratteristiche di tubi saldati in una rete del vapore di uno stabilimento industriale. Se ne ricercano le cause possibili dopo aver determinato lo stato di tensione indotto dalle condizioni di funzionamento.

Si individuano inoltre alcuni possibili rimedi.

- INTRODUZIONE

In uno stabilimento chimico a ciclo produttivo continuo della ICIC S.p.A., a partire dal 1984 fino ad oggi, si sono susseguite numerose rotture di tubazioni, di non facile interpretazione, in un'area ben delimitata della rete di distribuzione del vapore.

Tale area interessa il collettore principale posto nella Centrale Termoelettrica ed alcune delle tubazioni che lo collegano, da un lato, alle turbine, e dall'altro, ai reparti utilizzatori.

E' stato intrapreso uno studio per chiarire il fenomeno.

- METODOLOGIA

Si è svolta una indagine preliminare. Sulla base delle indicazioni emerse le saldature hanno assunto una importanza fondamentale per cui è stata ritenuta necessaria una indagine bibliografica [1][3] per approfondirne l'aspetto tecnologico, metallografico, tensionale, chimico.

L'indagine bibliografica ha rivelato che saldature di tubi effettuate secondo certe modalità presentano molte probabilità di fessurarsi al presentarsi di particolari, ma frequenti, condizioni di lavoro.

La restante parte della ricerca è stata pertanto orientata verso l'analisi della situazione reale per individuare, sia nella fase iniziale che in quella intermedia delle rotture, sia nella esecuzione e conduzione dell'impianto, la presenza di tutti quegli elementi critici che possono avallare la rottura per tenso-corrosione da idrogeno, cioè appunto l'ipotesi e il meccanismo esposti nella bibliografia.

L'analisi metallografica al microscopio ottico e al microscopio a scansione nonché l'analisi delle deformazioni, numerica (agli elementi finiti) e sperimentale, hanno fornito un valido contributo allo studio eseguito.

- RISULTATI DELLE INDAGINI

- Indagine preliminare

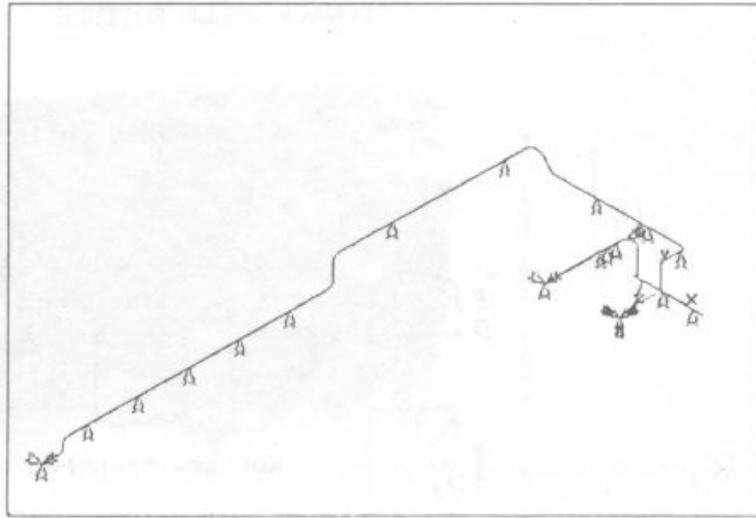
Dall'indagine preliminare sono emerse le seguenti indicazioni.

1) Il vapore ha una temperatura di 165+175 °C e una pressione di 410+450 kPa.

Tali valori vengono mantenuti per tutto il periodo di funzionamento dello stabilimento che effettua mediamente quattro fermate l'anno. In tali occasioni la temperatura e la pressione nelle tubazioni eguagliano i valori dell'ambiente esterno ($t=1^{\circ}\text{C}$ in dicembre, $t=30^{\circ}\text{C}$ in agosto).

2) Le rotture sono iniziate dopo che, per esigenze di portata di vapore, sono stati rifatti il collettore e la tubazione di adduzione al reparto "Estrazione 300" (fig.1)

Fig.1 - Schema della zona della rete di distribuzione del vapore interessata dalle fratture



3) I diametri del nuovo collettore e della nuova tubazione sono rispettivamente 450 e 324 mm contro 300 e 219 mm dei precedenti.

Sono stati aumentati anche i diametri dei tronchetti di attacco al collettore delle due tubazioni di arrivo dalle caldaie.

4) Le rotture sono avvenute cronologicamente a partire dagli elementi di diametro maggiore in giù e non hanno interessato i diametri inferiori a 220 mm come esposto nella tab.1.

5) Tutte le fratture sono avvenute, o per lo meno partite, su cordoni di saldatura che sono sempre circonferenziali (rispetto al tubo).

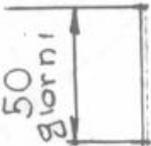
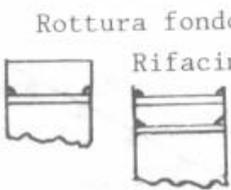
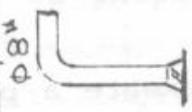
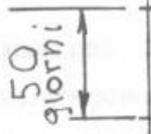
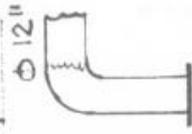
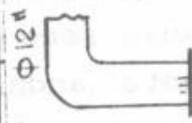
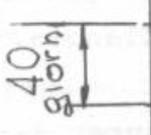
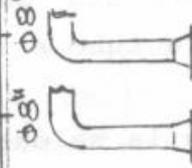
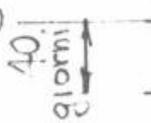
6) Le fratture sono di due tipi:

a) ad andamento assiale ossia perpendicolare ai cordoni di saldatura: frequentemente in un cordone sono numerose e parallele tra loro (figg.2a,2b). Questo andamento si è verificato in corrispondenza di cordoni tra due parti di spessore notevolmente differente: cioè tra tubo e flangia, tra tubo e collettore.

b) ad andamento circonferenziale lungo la saldatura, fig.3. Questo andamento si è verificato in corrispondenza di cordoni che uniscono parti di spessore poco differente: cioè tra tubo e curva.

Tab. n° 1 - CRONACA DELLE ROTTURE

Data

8/84			Rifacimento collettore e tubazione E 300.
			Rottura fondo collettore. Saldatura cricca. Rifacimento fondo nuovo. Aggiunta secondo fondo perchè il primo ha problemi di tenuta.
12/84			Rottura tronchetto \varnothing 10".
			Rottura tronchetto \varnothing 12" quasi contemporanea alla rottura precedente.
8/86			Rottura raccordo \varnothing 10 - 8". Sostituzione tratto \varnothing 8" fino al soffierto.
5/88			Rottura tubazione \varnothing 12" con distacco completo seconda cuva a 90°. Rifacimento del tratto.
			Rottura del tratto rifatto in corrispondenza di una flangia. Rifacimento in All6 Grado B, trattamento termico di distensione in sito. Nuova rottura del tratto iniziale tubaz. \varnothing 8", sostituzione.
8/88			Ulteriore rottura del tratto iniziale tubaz. \varnothing 8"; rifacimento con All6 Grado B, disteso.
2/90			Rottura di un giunto di dilatazione per cedimento di un vincolo. Rifacimento del tratto \varnothing 10". Rottura in corrispondenza della flangia.

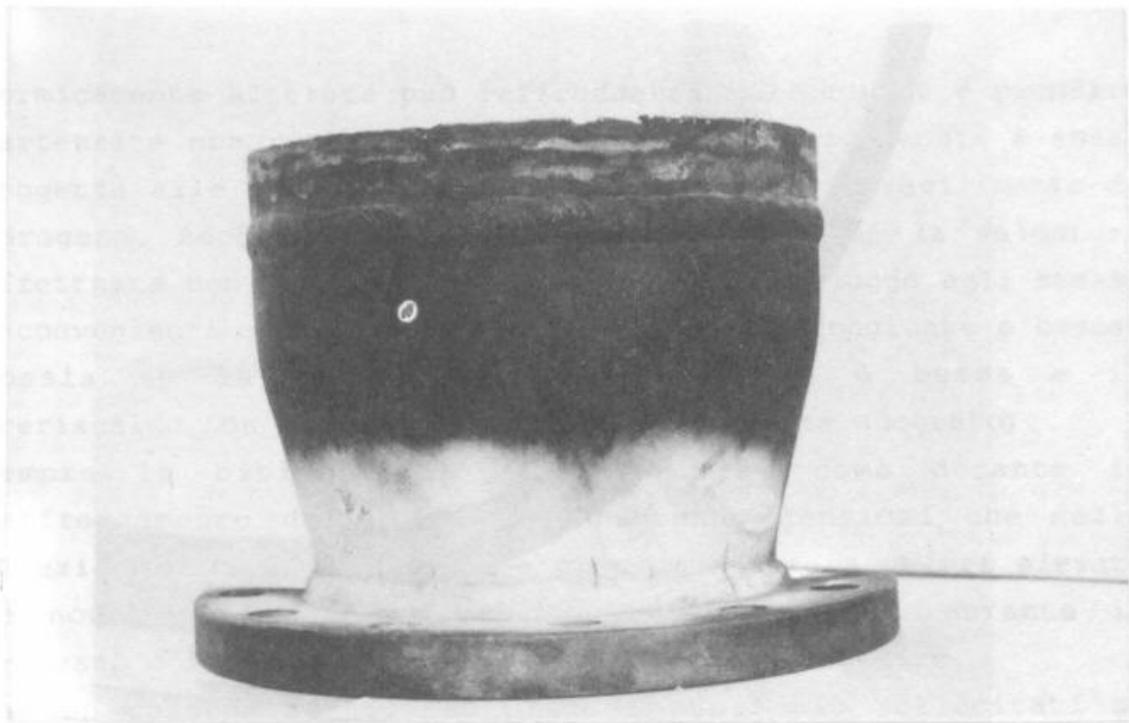


Fig.2a -Fratture multiple perpendicolari al cordone di saldatura evidenziate con liquidi penetranti

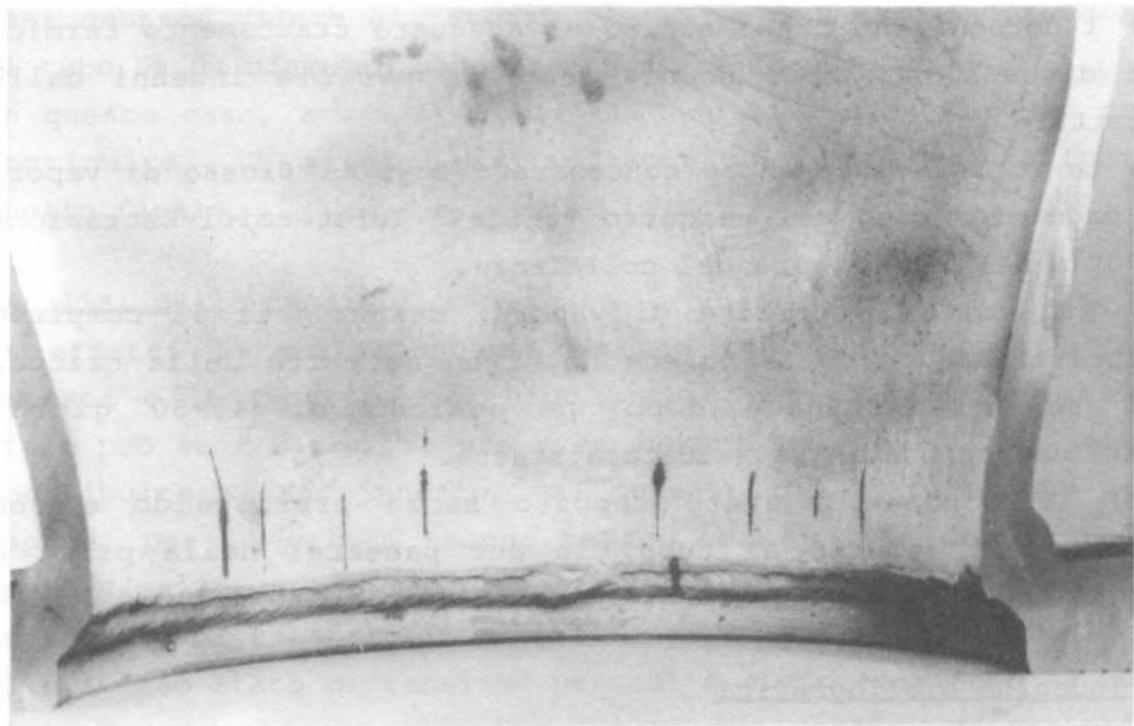


Fig.2b -Stesso particolare della figura precedente visto dall'interno del tubo

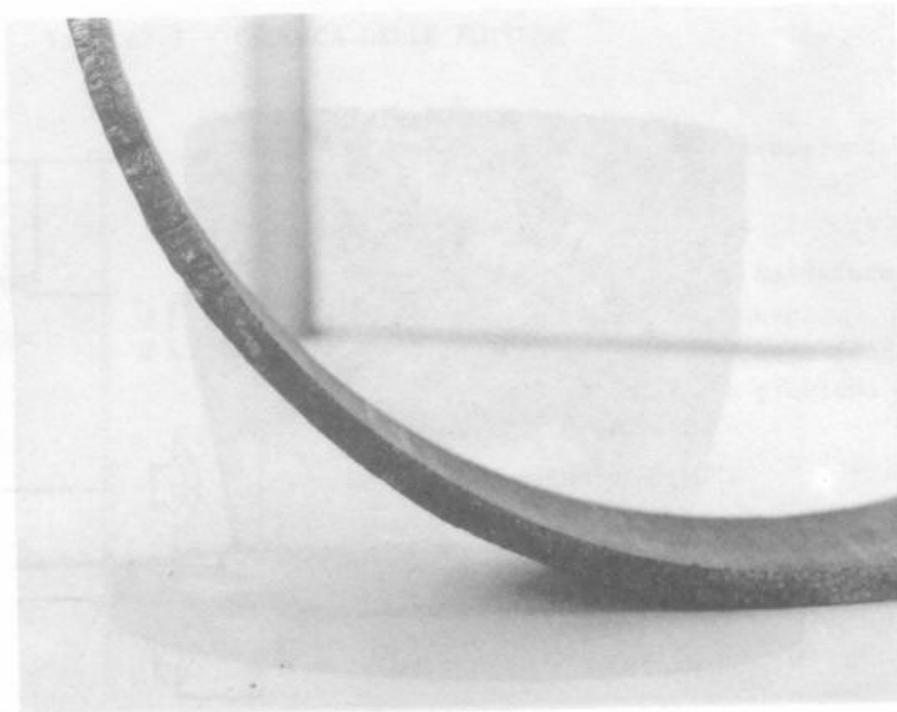


Fig. 3 -Frattura con andamento circonferenziale

7) I cordoni che hanno subito un adeguato trattamento termico di distensione (sono pochi) sembrano per ora indenni dalle fratture.

8) Le rotture sono anche concentrate dove il flusso di vapore è maggiore; cioè nel percorso "caldaie Idrotermici-Estrazione 300" e nella zona alta del collettore.

9) Più volte le perdite di vapore, denunzianti il completo attraversamento della parete del tubo da parte della cricca, si sono manifestate dopo un periodo di 40+50 giorni dall'esecuzione della saldatura stessa.

10) Il cordone è stato deposto senza preriscaldamento e con continuità intorno al tubo, in due passate: nella prima è stato usato un elettrodo basico con rivestimento cellulosico.

- Indagine bibliografica

Dall'indagine bibliografica è emerso che [1]:

"regioni di elevata durezza si possono formare dalla saldatura senza adeguato preriscaldamento di tubi di differenti spessori o di un tubo e di una flangia. In cordoni di saldatura depositati nelle anzidette condizioni con elettrodi cellulosici la zona

termicamente alterata può raffreddarsi velocemente e produrre martensite non rinvenuta. La martensite non rinvenuta è assai soggetta alle rotture da tenso-corrosione e infragilimento da idrogeno. Anche con tubi di spessore uniforme la saldatura effettuata con elettrodi cellulosici può dar luogo agli stessi inconvenienti se la temperatura delle parti congiunte è bassa" (ossia se la temperatura dell'ambiente è bassa e il preriscaldamento non viene effettuato o non risulta adeguato).

Sempre la bibliografia riferisce [2] come durante il raffreddamento della saldatura sorgano tensioni che nella direzione assiale del cordone possono assumere valori elevati se non sono state prese adeguate precauzioni durante il processo o se una distensione non vien fatta seguire.

Per un cordone rettilineo piano i punti più sollecitati si trovano sulla mezzeria, oltre una certa distanza dall'inizio.

Dal momento che nella bibliografia non sono stati trovati riferimenti a cordoni cilindrici d'angolo, si pensa che per essi debbano valere gli stessi risultati del cordone piano se il tubo ha un diametro superiore a un certo valore.

In questo caso, ammesso che il cordone sia stato deposto con continuità, il tratto più sollecitato dovrebbe risultare quello finale.

-Analisi delle tensioni

In effetti la corrispondenza tra lo stato tensionale sopra esposto e le fratture del tipo 6)a) è notevole; quindi tale stato può senz'altro, se non aver determinato la rottura, aver contribuito al suo innesco, dal momento che la pressione del vapore, per il valore troppo basso, non ha voce in capitolo ($p=10 \text{ N/mm}^2$).

Le rotture di tipo 6)b) non possono però essere fatte risalire allo stesso stato di tensione per cui è stato esaminato se uno stato tensionale congruente con esse può essersi determinato dalle dilatazioni termiche parzialmente impediti dai vincoli.

A questo scopo per un anno circa, la parte di rete di distribuzione del vapore interessata è stata tenuta sotto osservazione: sono stati misurati gli spostamenti al variare del regime dell'impianto. La fig.4 riporta gli spostamenti

misurati in alcuni punti caratteristici (cerchietto) all'avviamento dell'impianto. Si può osservare, tra l'altro, come il collettore AF ruoti sotto l'azione dei tubi di adduzione del vapore EL (Tosi), FGH (Idrotermici), e del tubo di distribuzione CNO (E.300). L'appoggio (triangolo in figura) interviene a limitare lo spostamento del punto G, ma la rotazione prosegue ulteriormente a causa della flessibilità del tratto di tubo FG. La freccia di questo tratto, elevata rispetto alla sua lunghezza, può far pensare ad uno stato di tensione non trascurabile.

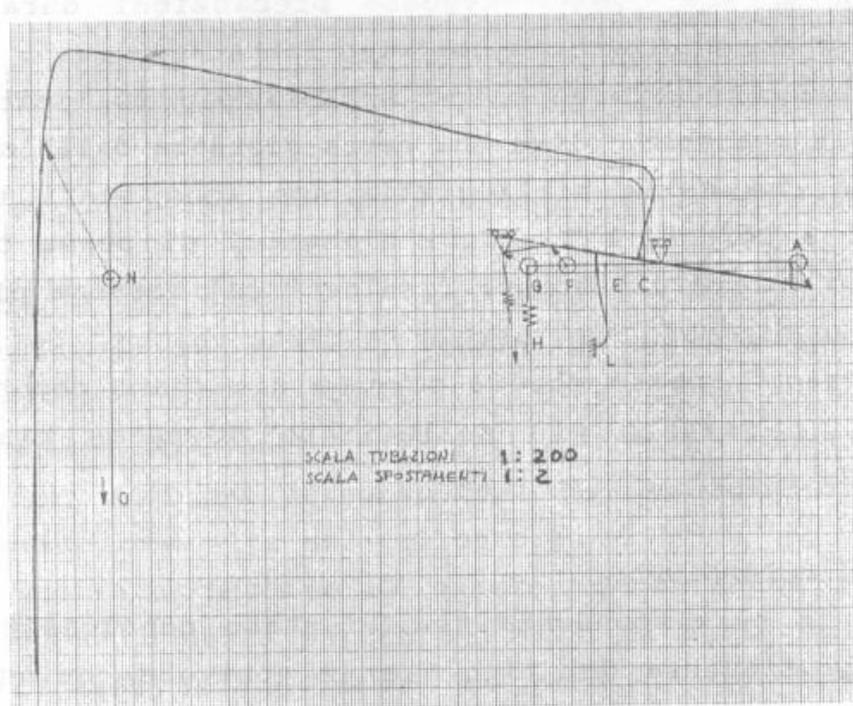


Fig. 4 - Spostamenti delle tubazioni misurati in avviamento (pianta)

Si ricorda che alcune fratture circonferenziali sono avvenute in tale tratto.

Per valutare adeguatamente sia gli spostamenti che lo stato tensionale in tutta la rete è stato elaborato un modello numerico utilizzando un codice agli elementi finiti.

Gli spostamenti calcolati sono stati riportati nelle figg. 5, 6. Le tensioni nelle zone più sollecitate, cioè in quelle dove si sono verificate le fratture circonferenziali (tratto GF fig. 4)

non sono particolarmente elevate, il valore massimo non supera 60 MPa.

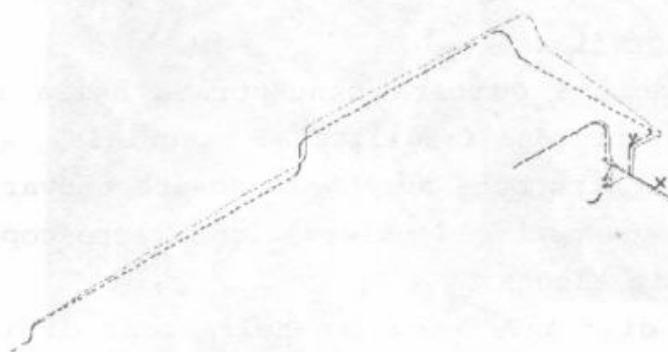


Fig.5 -Vista tridimensionale degli spostamenti delle tubazioni in avviamento forniti dal modello numerico

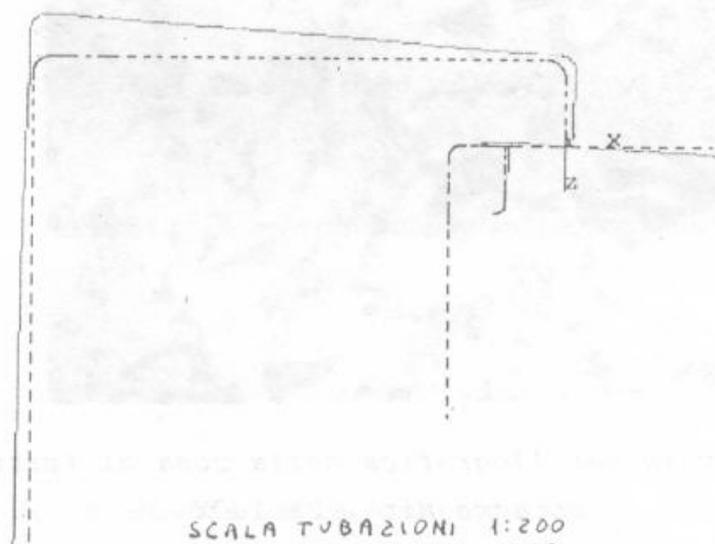


Fig.6 -Spostamenti delle tubazioni in avviamento forniti dal modello numerico

-Indagine chimica e delle caratteristiche meccaniche.

La composizione chimica e le caratteristiche meccaniche dei materiali con cui sono stati realizzati i tubi e le flange sono riportati rispettivamente nelle tabb. n°2 e n°3.

Il ph dell'acqua di caldaia è risultato compreso tra 7.8 ed 8.1.

-Indagine metallografica

Particolare attenzione è stata concentrata nella ricerca di strutture che conferiscono fragilità al materiale.

Evidentemente tali strutture avrebbero dovuto trovarsi là dove la cricca è nucleata mentre l'osservazione microscopica non ne ha rivelata traccia alcuna.

La metallografia di fig.7, eseguita nella zona di saldatura e nella zona immediatamente vicino, mostra una struttura di tipo ferritico-perlitico, la cui morfologia non risulta particolarmente alterata dal processo di saldatura.

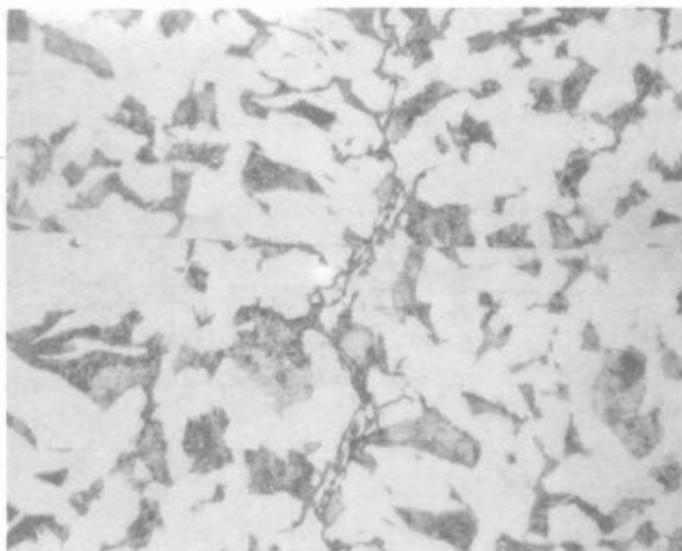


Fig.7 -Struttura metallografica della zona di frattura, con attacco Nital 2% 100X

-Indagine frattografica.

La frattografia di fig.8, eseguita al SEM, mostra una superficie di frattura che in alcune zone è di tipo intergranulare. Questa morfologia è indice della propagazione di una frattura fragile entro un materiale "nominalmente" duttile, per effetto di azioni concomitanti di attacco chimico e di sollecitazione meccanica [3].



Fig.8 -Aspetto della superficie di frattura rilevata mediante
analisi al SEM

Tab.n°2 -Composizione chimica percentuale delle flange e dei tubi.

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Co	V	Ti
Flange	.21	.22	1.01	.009	0	.058	.61	.21	.24	.32	.01	.006
Tubi	.20	.11	1.12	.01	0	0	.51	.05	.03	.03	.01	.006

Tab.n°3 -Caratteristiche meccaniche minime dei materiali.

$$R = 580 \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad R_s = 360 \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad A_5 = 20 \quad HB_{10} = 160$$

- CONCLUSIONI

Le rotture sono dovute alla contemporanea presenza di due fattori: ambiente aggressivo e stato di tensione di un certo livello. Per evitare tali rotture bisognerebbe intervenire sull'aggressività dell'ambiente o ridurre lo stato tensionale eliminando componenti di reazioni iperstatiche.

Allo stato attuale del lavoro, poichè non è stata possibile un'analisi completa sulle caratteristiche dell'ambiente, imputabile soprattutto alle varie sostituzioni di additivi per l'acqua di caldaia, ci si è preoccupati soprattutto del secondo problema. Lo stato tensionale in corrispondenza delle

flange deve essere abbassato contenendo gli errori geometrici dei singoli tratti di tubazione ed eseguendo una distensione adeguata di ogni saldatura, in loco, dopo il montaggio.

Invece lo stato tensionale in prossimità delle curve va abbassato intervenendo sui vincoli e sui giunti di dilatazione che van cambiati sia di numero che di posizione rispetto alla soluzione attuale.

A proposito dell'ambiente corrosivo, non essendo provato che sia originato dal vapore, è d'obbligo osservare scrupolosamente le norme per l'esecuzione delle saldature (controllo dell'umidità dell'ambiente e degli elettrodi etc.).

- BIBLIOGRAFIA

- [1]- "Metals Handbook" 9 Ed, Vol 11, pag 699; American Society for Metals, Metals Park, Ohio 44073.
- [2]- "Metals Handbook" 9 Ed, Vol 6 pag 858; American Society for Metals, Metal Park, Ohio 44073.
- [3]- Oriani R.A., Hirt JP, Smialowski M. "Hydrogen Degradation of Ferrous Alloys"; Ed Noyes publications, Park ridge, New Jersey, Usa