

DANNEGGIAMENTO PALE E FILO SMORZATORE DI TURBINA A VAPORE

E. Giorni, M. Giannozzi & M. Innocenti

Nuovo Pignone S.p.A. - Direzione Generale Tecnica.

Laboratorio Metallurgico e Tecnologico

Sommario

Su una turbina a vapore da 26 MW si sono verificate alcune rotture sulle pale dell'ultimo stadio rotorico di bassa pressione e sul filo smorzatore. Inoltre è stata notata una forte erosione da liquid impingement sui bordi di ingresso e di uscita delle pale.

L'indagine di failure analysis ha consentito di individuare nella fatica alto ciclica il meccanismo di danno dei due componenti, pale e filo smorzatore. La causa è stata individuata nelle alte vibrazioni indotte dalla presenza di acqua allo scarico durante la fase di avviamento della turbina. L'acqua ha causato anche i fenomeni di erosione osservati.

Abstract

Some fractures occurred on a 26 MW steam turbine at the LP rotor last stage blades and lacing wire. A considerable erosion due to liquid impingement of blade trailing and leading edges was also noticed.

A failure analysis allowed us to establish that the high-cyclic fatigue is the damage mechanism for the two components, blades and lacing wire. The cause was found to be the high vibrations due to the presence of water at the drain during the turbine start-up. The presence of water has also caused the erosion phenomena.

I) Introduzione

Una turbina a vapore a condensazione da 26 MW di potenza, in funzione dal 1966 in un impianto cogenerativo per la produzione di energia elettrica e di vapore per uso industriale, ha subito a fine 97, durante una fase di avviamento, un arresto per alte vibrazioni. L'ispezione del rotore ha evidenziato, nell'ultimo stadio di bassa pressione, la rottura di alcune pale e una marcata erosione da particelle di acqua. Di seguito si descrivono le indagini condotte per individuare le cause dell'incidente.

II) Indagine di failure analysis

Osservazione visiva

Tre pale consecutive e altre tre diametralmente opposte sono interessate da fratture. Nel primo gruppo, la terza nel senso di rotazione del rotore è mancante di circa 1/3 della foglia. Nel secondo gruppo, una pala ha in prossimità della piattaforma una cricca trasversale che dal bordo di uscita si estende per circa metà della sua larghezza.

Su cinque pale È mancante un lembo di materiale nella parte alta del bordo di uscita.

Qui le rotture mostrano modeste deformazioni plastiche e leggere bave da ricalcamento che fanno orientare per fratture avvenute in modo progressivo, sotto l'azione di vibrazioni flessionali.

Su tutte le pale si osserva una marcata erosione da particelle di acqua (foto n° 1 e n° 2) che dal tipî si estende per circa 1/3 del bordo di ingresso e per tutto il bordo di uscita, lato estradosso.



Foto n° 1: erosione da particelle di acqua su pale

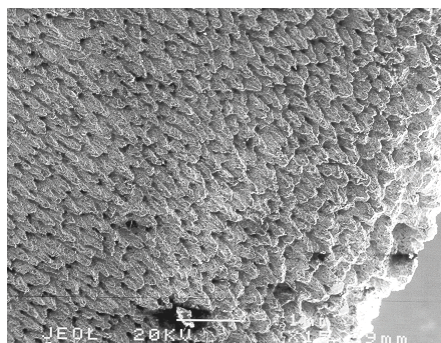


Foto n° 2: particolare della superficie erosa (X ~8)

L'entità del fenomeno riscontrato è stata tale da coinvolgere anche i pesi posteriori di equilibratura del rotore.

Il filo smorzatore è mancante in quattro settori, due dei quali sono in corrispondenza delle pale danneggiate. La superficie è a tratti marcata da battimenti e scorrimenti verificatisi all'interno della sede delle pale. Tutte le fratture esaminate, tranne una, sono riconducibili a fenomeni di fatica altociclica. (foto n° 3).



Foto n° 3: fatica altociclica su filo smorzatore Foto n° 4: fatica altociclica su pala

Esame con liquidi penetranti

Le 39 pale che compongono l'ultimo stadio di bassa pressione, sono state controllate con liquidi penetranti senza rilevare la presenza di ulteriori cricche.

Sul tratto libero di un pezzo di filo smorzatore si è evidenziata una cricca non profonda, posta in corrispondenza del raggio esterno di curvatura.

Controllo dei materiali

I materiali delle pale e del filo sono risultati rispettivamente X20Cr13 e X22CrMoW12.1, come da progetto.

Le durezze misurate sono di 246 HB per le pale e di 305÷ 330 HB per il filo smorzatore.

Le strutture metallografiche non presentano anomalie.

Esame frattografico su pale

La rottura della pala mancante di parte della foglia È avvenuta per fatica ad alto numero di cicli (foto n° 4). L'innesco è localizzato sul bordo d'ingresso, lato estradosso, dove inizia l'erosione.

Nel tratto di propagazione si osservano due linee di riposo e, ad alti ingrandimenti, una morfologia mista di frattura: transgranulare, tipica della fatica, e intergranulare, rilevabile in genere quando interviene un'azione ambientale (foto n° 5 e n° 6).

La rottura finale per sovraccarico è duttile ed interessa circa 2/3 della sezione resistente.

La cricca sull'altra pala ha anch'essa una morfologia tipica della fatica ad alto numero di cicli, con le caratteristiche linee di riposo, circa una quindicina (foto n° 7). Il punto di innesco È localizzato sul bordo d'uscita eroso dall'acqua, lato estradosso.

La presenza di ossido e le numerose linee di riposo, fanno ritenere che qui sia iniziato il danneggiamento dello stadio. A micro scala la superficie della frattura per fatica ha un aspetto simile a quello della pala precedente.

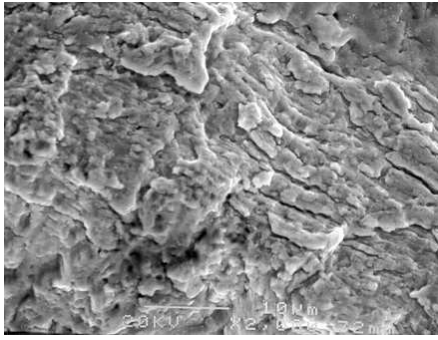


Foto n° 5: frattura transgranulare per fatica (X 1000)

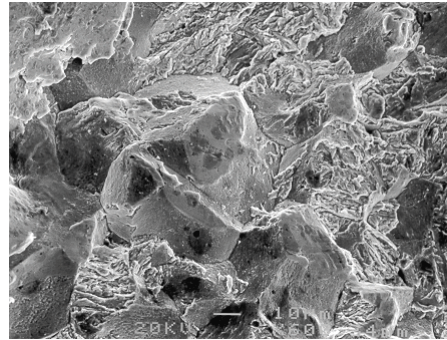


Foto n° 6: frattura mista intergranulare e transgranulare (X 300)



Foto n° 7: frattura transgranulare per fatica su pala n° 2

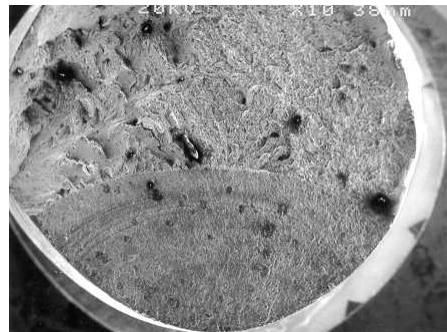


Foto n° 8: frattura per fatica su filo smorzatore (X 5)

Esame frattografico filo smorzatore

Sul filo smorzatore sono state contate n° 7 rotture: 6 di fatica ed una di schianto; quest'ultima provocata dalla rottura della pala.

Quattro delle 6 rotture per fatica sono posizionate approssimativamente dove il filo si inserisce nelle pale, due sono nel tratto libero. Delle tre esaminate, una ha l'innesco sul raggio medio ed evidenzia n° 7 linee di riposo (foto n° 8), mentre le altre due hanno gli inneschi sul raggio esterno e presentano n° 1 e n° 6 linee di arresto rispettivamente.

La superficie esterna del filo non mostra danneggiamenti in corrispondenza degli inneschi. L'aspetto morfologico delle superfici di frattura È simile a quello rilevato sulle due pale esaminate; transgranulare con aree intergranulari nel tratto di propagazione per fatica, duttile in quello della rottura finale.

III) Considerazioni

Una serie d'eventi vibratorii, circa quindici, succedutisi negli ultimi tre mesi di funzionamento della turbina, hanno causato il danneggiamento dello stadio del rotore. Infatti, un controllo del rotore eseguito tre mesi prima, non aveva rilevato alcun danno sulle pale. Inoltre questi eventi vibratorii devono essere stati brevi, contrariamente le rotture sarebbero avvenute senza soluzione di continuità, e sono da associare con gli avviamenti della macchina.

Le vibrazioni hanno prodotto le cricche di fatica sul filo e sulle due pale. In particolare, mentre la propagazione della cricca sulla pala, la cui rottura ha provocato l'arresto della turbina, subiva numero due arresti, altre cricche si erano già formate sul filo smorzatore e su di una seconda pala, come testimoniano le linee di riposo.

L'erosione da particelle d'acqua È stata particolarmente intensa fino da interessare non solo i bordi d'ingresso e di uscita delle pale, ma anche i pesi posteriori di equilibratura del rotore.

Sulle pale l'erosione ha inoltre favorito la nucleazione delle cricche di fatica.

Le rotture nei quattro settori del filo smorzatore, ad esclusione di quelle formatesi alle estremità, hanno avuto origine sul diametro di curvatura esterno, e all'interno o appena al di fuori della sede pala, dove la sollecitazione imposta dal moto di rotazione È di compressione. Ciò segue dall'aver assunto come schema di calcolo quello di una trave incernierata su più appoggi e caricata uniformemente dalla forza centrifuga.

In queste condizioni, pertanto, la propagazione delle cricche formatesi sul raggio esterno, È avvenuta per sollecitazioni dinamiche d'ampiezza alquanto maggiore di quella di compressione.

IV) Conclusioni

Le circostanze in cui È avvenuto l'incidente, il confronto fra il numero di eventi vibratorii e quello maggiore degli avviamenti dell'impianto, ed infine il breve ma intenso fenomeno erosivo delle pale, giustificano la seguente dinamica di danneggiamento della turbina.

Durante alcuni avviamenti, il livello dell'acqua condensata allo scarico si È innalzato per inconvenienti occorsi nel circuito di drenaggio, fino a sfiorare le pale dell'ultimo stadio. Gli urti conseguenti hanno sottoposto le pale e il filo smorzatore ad intensi carichi dinamici, responsabili delle rotture per fatica. L'acqua, sollevata e polverizzata, ha prodotto l'erosione delle pale e dei pesi d'equilibratura del rotore.

V) Bibliografia

1. Handbook of case Histories in Failure Analysis, Volume 1, Khlefa A. Esaklul, Editor; ASM International 1992.
2. Failure Analysis: Techniques and Applications. Proceedings of the First International Conference on Failure Analysis 8-11 July 1991 Montreal, Quebec, Canada; ASM International 1992.
3. Metals Handbook Ninth Edition. Volume 11 Failure Analysis and Prevention; AMS 1986.
4. Metals Handbook Ninth Edition. Volume 12 Fractography; AMS 1987.

Atti del convegno

[[Precedente](#)] [[Successiva](#)]

Versione HTML realizzata da

