

# CONTROLLI ULTRASONORI CON TECNICA PHASED-ARRAY ANCORAGGI PALETTE DI ROTORI TURBINA A VAPORE DI BASSA PRESSIONE

*Tommasi Danilo, Ermini Roberto*  
*ENEL Produzione – Assistenza Specialistica*

## **Sommario**

La memoria riporta le esperienze circa i controlli ultrasonori eseguiti con tecnica Phased Array sui rotori di turbina a vapore GE presenti nel parco termoelettrico Italiano. Il controllo è rivolto alla ricerca di difettosità che possono innescarsi sui dischi di ancoraggio delle palette dei rotori BP, soggetti a fenomeni di Stress Corrosion Cracking (SCC); il fenomeno può presentarsi dopo periodi di esercizio piuttosto lunghi (oltre i 10 anni), in particolare sui dischi degli stadi L-1 ed L-2 (4° e 5°), i difetti possono insorgere nelle tre gole dell'ancoraggio palette, difetti che, se non rilevati, possono condurre a rottura dei dischi stessi con conseguenze catastrofiche per la macchina.

Gli Standard di Manutenzione Turbina dell'Enel, prevedevano il controllo ancoraggi solo in caso di smontaggio delle palette, l'unico modo per controllare efficacemente le gole degli ancoraggi, era quello con Particelle Magnetiche (meglio se Fluorescenti).

La tecnica ultrasonora PA permette di eseguire il controllo a palette montate, con evidente riduzione sia dei tempi che dei costi dell'intervento.

L'unità di Assistenza Specialistica (ASP) di ENEL Produzione si è dotata della strumentazione PA e sta facendo esperienza per migliorare l'affidabilità, ridurre i tempi di intervento con l'obiettivo di controllare tutti i rotori di questo tipo durante le fermate programmate degli impianti.

Superata la fase di messa a punto e di affinamento del sistema nel suo complesso, perfezionando la tecnica di controllo ed adattando il sistema alle vari esigenze impiantistiche, sono stati effettuati controlli su 9 rotori BP; su alcuni rotori i controlli sono già stati ripetuti per poter rilevare eventuali evoluzioni dei difetti riscontrati.

La memoria descrive in sintesi la metodologia del controllo, le caratteristiche del sistema impiegato, le modalità di acquisizione e trattamento dei segnali, i criteri di registrazione dei difetti ed il metodo per il loro dimensionamento.

## **INTRODUZIONE**

Le cricche per tensocorrosione (SCC) si sviluppano e progrediscono in metalli sensibili al fenomeno quando sono esposti in ambiente corrosivo e soggetti a sollecitazione statica e/o dinamica. Nelle turbine a vapore la tensocorrosione si verifica prevalentemente negli stadi umidi di prima condensazione, la componente meccanica è determinata dalle tensioni causate dalla forza centrifuga e dalla presenza di sollecitazioni residue nel materiale.

Il materiale impiegato nella costruzione dei rotori di turbina BP è in genere un acciaio debolmente legato al Cr – Ni – Mo e V.

Gli ancoraggi degli stadi da L-1 a L-4 di un rotore BP di costruzione GE, sono del tipo “tangential entry”, la nostra attenzione è concentrata sugli stadi L-1 e L-2 (penultimi e terzultimi del rotore BP) dove è più probabile la formazione di difetti, che per la distribuzione degli sforzi hanno origine in corrispondenza dello spigolo delle tre gole che formano la geometria dell’ancoraggio. Una volta innescati si propagano nello spessore con una velocità che dipende oltre che dalla sollecitazione anche dal tipo di esercizio cui è chiamata a svolgere la macchina, la loro evoluzione nel tempo può chiaramente portare anche alla rottura catastrofica del disco, in superficie si presentano su più piani con andamento tipico a terrazza.

Il controllo ultrasonoro manuale è stato scartato sia per la complessità dell’ecogramma di risposta che per i tempi estremamente lunghi di esecuzione e non ultimo per la ridotta accuratezza ottenibile; in passato, comunque furono fatte alcune prove per verificare in campo la fattibilità del controllo e per verificare le risposte ottenute con la tecnica Phased Array in fase di sperimentazione, che in tempi successivi a valle di numerose prove è stata infine validata.

## **ESPERIENZA ENEL**

Nel campo del controllo degli ancoraggi con la tecnica PA, Enel sta maturando esperienza, la tecnica di controllo si sta affinando sia come sistema HW nel suo complesso, sia come flessibilità di impiego. Il rotore infatti può essere controllato indifferentemente in assetto di RGT (Revisione Generale di Turbina), quando cioè è previsto lo smontaggio completo della macchina, con il rotore posizionato su appositi cavalletti dotati di rulli motorizzati che lo pongono in rotazione lenta, oppure in RPT (Revisione Parziale Turbina) quando il rotore rimane montato direttamente sui propri cuscinetti, nell’alloggiamento naturale all’interno della macchina; in questo caso la rotazione è assicurata direttamente dal viradore della linea d’asse, accoppiato però ad apposito riduttore che ne permetta anche in questo caso la lenta rotazione.

I tempi di controllo sono sostanzialmente uguali nei due casi, si differenziano naturalmente i tempi per le attività preparatorie e collaterali, in caso di RGT il nostro intervento avviene in genere alla quinta settimana di fermata, mentre in RPT possiamo intervenire nel corso della seconda settimana di fermata, il tempo totale del nostro intervento, considerando anche quello necessario per la preparazione superficiale della zona d’accoppiamento della sonda (una leggera lucidatura mediante spazzolatura meccanica), non supera i due giorni, mentre sono necessari circa 5 giorni per completare l’analisi in laboratorio.

Grazie all’addestramento effettuato con il costruttore del sistema, all’affinamento della specifica di controllo e alla partecipazione, per il personale interessato, a corsi di aggiornamento interni, è stata raggiunta una buona dimestichezza, è stata migliorata l’affidabilità complessiva ed infine è stato possibile validare i risultati procedendo in alcuni casi allo smontaggio delle palette ed al dimensionamento dei difetti mediante la loro asportazione.

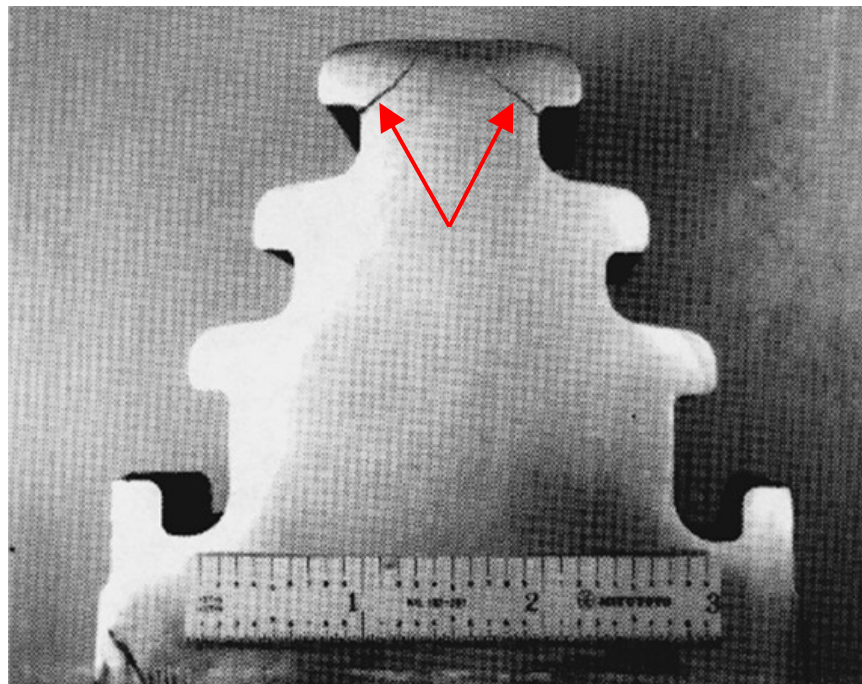


Figura 1 - sezione di un ancoraggio, sono evidenziate cricche importanti posizionate sulla gola esterna

## DESCRIZIONE DEL SISTEMA

La caratteristica principale della tecnologia Phased Array (PA) è quella di utilizzare sonde a matrice, composte da un numero variabile di singoli cristalli, che utilizzano l'interferenza di fase risultante dal tempo di emissione degli impulsi per ottenere una direzione e/o una focalizzazione del fascio; una sonda PA è programmata in modo da sincronizzare le leggi focali mediante un algoritmo computerizzato che definisce i parametri assegnati ad una combinazione di elementi come l'ampiezza del voltaggio applicato, la sequenza delle eccitazioni ed il ritardo tra le emissioni dei vari elementi; in pratica ogni cristallo produce un fronte d'onda che può essere differito nel tempo e sincronizzato in fase ed ampiezza, in modo da formare un unico fascio ultrasonoro del quale si può governare l'apertura angolare e in modo dinamico la focalizzazione, pertanto sia l'angolo di incidenza che la zona di massima risoluzione possono essere modificati in relazione alla geometria del particolare controllato.

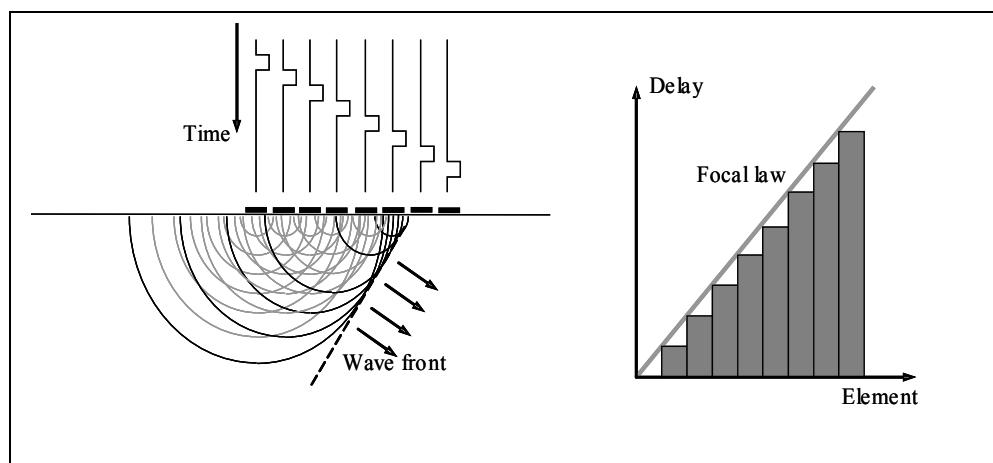


Figura 2 – rappresentazione del trincio di funzionamento

La scelta delle frequenze della sonda si è basata su test pratici. È stato osservato che si ottiene un buon rapporto segnale-disturbo utilizzando una sonda da 5 MHz (l'attenuazione del materiale è troppo rilevante per frequenze superiori).

La sonda è composta da 32 elementi, gli angoli di rilevamento tipici sono 41, 51 e 60°.

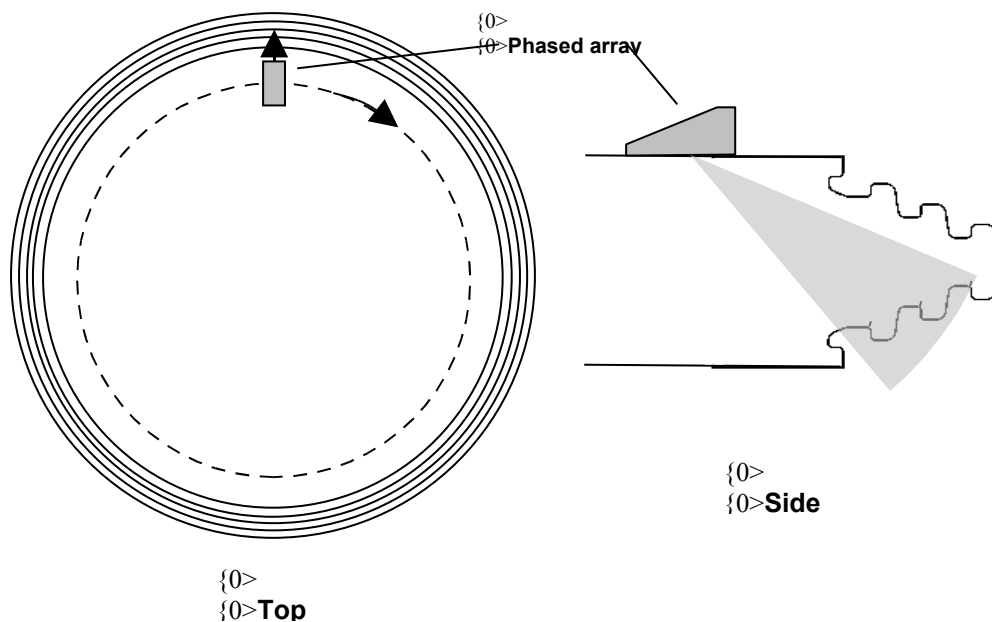


Figura 3 – rappresentazione schematica del controllo

Viene utilizzata la scansione elettronica settoriale. La sonda viene posta sul disco in una determinata posizione fissa su un perimetro circolare, disegnato dalla rotazione del disco (concentrica rispetto all'ancoraggio), il fascio spazia tra i 35° e i 65° (risoluzione = 0,5°). Questo permette di coprire l'intera area di interesse eseguendo una singola linea di scansione e di investigare col fascio UT tutta la zona terminale del disco, ed in particolare, grazie alla focalizzazione dinamica, le tre gole dell'ancoraggio, critiche per la formazione dei difetti.

Un encoder consente di leggere la posizione circolare (posizione di scansione) mediante l'apparecchiatura UT.

Il blocco campione utilizzato per lo sviluppo della tecnica e per la taratura della sensibilità è riportato nelle immagini sottostanti.

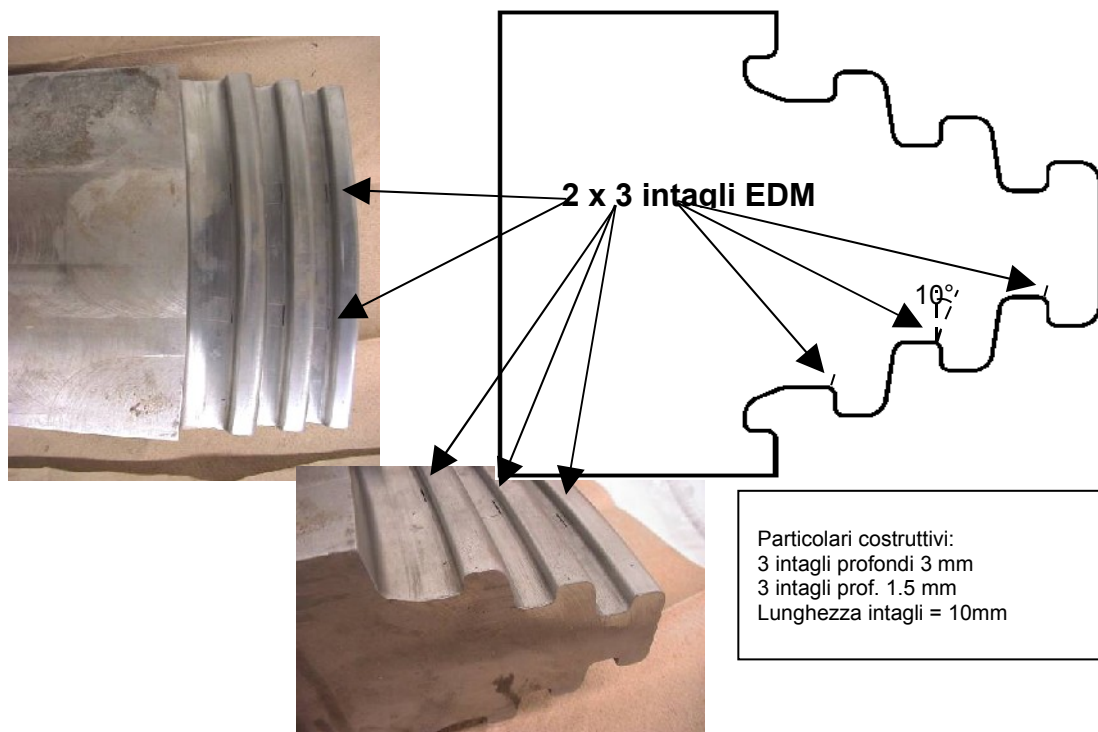


Figura 4 – Rappresentazione del blocco campione

Esso contiene 6 difetti artificiali (intagli) ed è realizzato dello stesso materiale e con la stessa geometria dei dischi. Queste intagli sono stati praticati mediante tecnica di elettro-erosione( EDM ) e hanno le dimensioni seguenti:

- Larghezza: 0,2 mm

- Lunghezza: 10 mm
- Profondità: 1,5 mm e 3 mm

I difetti sono situati nella zona critica seguendo l'orientamento tipico dei difetti (circa 10°), la risposta dei difetti reali è, in modo più o meno marcato, diversa, per cui sono stati necessari dei riscontri concreti per poter valutare il grado di affidabilità del sistema.

Nell'immagine seguente è mostrata la sonda sul mock-up, nella stessa posizione in cui si trova durante l'esecuzione del controllo in campo.

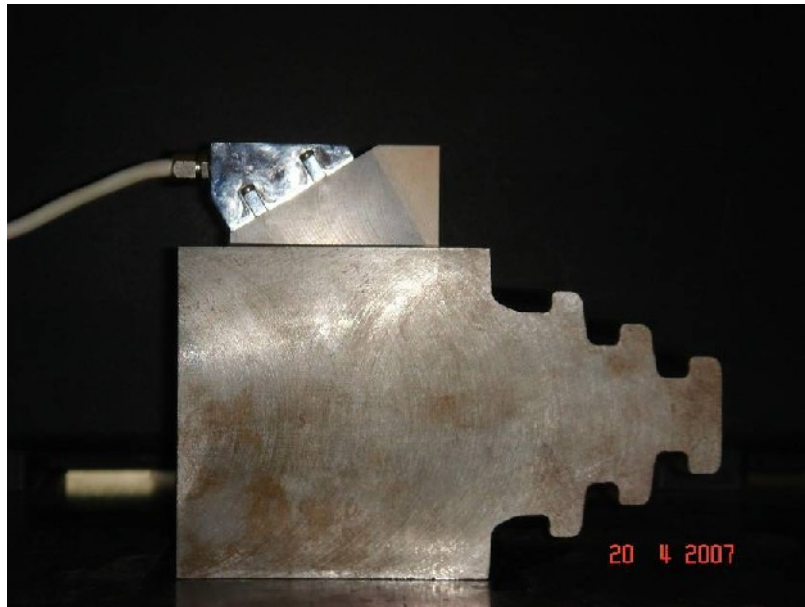


Figura 5 – l'immagine riporta la sonda sul mock-up, nella stessa posizione in cui si trova durante l'esecuzione del controllo in campo

L'utilizzo del software dedicato, permette un'appropriata visualizzazione dei dati che rende possibile la distinzione tra eco geometriche ed eco di difetti, il posizionamento della sonda avviene infatti mediante la sovrapposizione del profilo come mostrato nella figura 6.

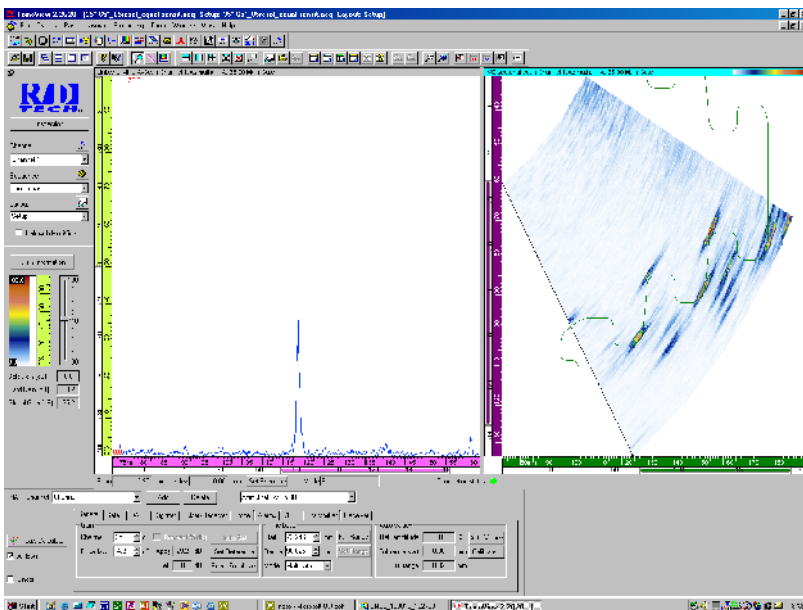


Figura 6 – Sovrapposizione degli echi geometrici al profilo

In fase di controllo il sistema è collegato alla sonda PA, all'encoder ed al computer di acquisizione tramite la rete locale fast ethernet, il sistema acquisisce e memorizza l'intero segnale con un certo grado di integrazione in base alle esigenze di accuratezza, i difetti da ricercare sono sempre legati all'esercizio

e si tratta come detto prima di cricche da SCC, trattandosi di fucinati, fino ad oggi non sono mai stati individuati difetti di origine compresi nel volume dell'ancoraggio

La fase di analisi dei dati acquisiti, come detto occupa solitamente una settimana lavorativa; essa è supportata da un software che permette di esaminare, per qualsiasi posizione sia radiale che angolare, tutti i parametri classici degli UT (Ampiezza della risposta, Dinamicità dell'ecogramma, Posizione e Stabilità dell'indicazione), con la possibilità di avere presentazioni A-Scan, B-Scan, C-Scan, oltre ad una S(Sectorial)-Scan, che, proiettata sopra ad una rappresentazione grafica della sezione del nostro ancoraggio, ci permette una immediata percezione della posizione e anche della consistenza delle indicazioni. In questa fase vengono analizzati tutti i segnali provenienti da riflettori, la cui ampiezza massima supera il livello di registrazione, definita dalla procedura ed affinata con le esperienze fin qui acquisite.

Il dimensionamento della lunghezza delle indicazioni viene eseguito per ogni angolo di valutazione ed è basato su una caduta di ampiezza di  $-6$  dB.

Anche il dimensionamento della profondità viene eseguito utilizzando il metodo della caduta di  $-6$  dB. La profondità dell'indicazione viene valutata in una scansione settoriale con correzione di volume ed è uguale alla differenza tra la posizione UT del massimo valore di ampiezza e la posizione UT di "angolazione verticale" corrispondente ad una caduta di  $-6$  dB. L'idea che sta alla base del dimensionamento è che il massimo rappresenti una riflessione angolare e, in caso di un difetto di grandi dimensioni, il punto di caduta di  $-6$  dB rappresenta il limite del difetto (ottenuto per riflessione speculare).

Vediamo di seguito alcune immagini che rappresentano, sia pure parzialmente, le presentazioni del segnale che il software ci permette.

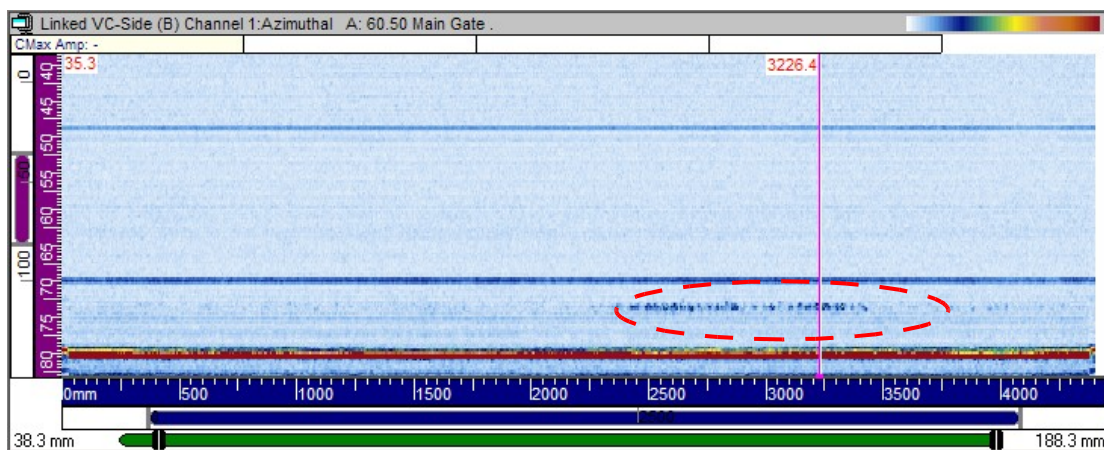


Figura 7 - Sviluppo dell'intera circonferenza del disco (0-4400 mm), nella posizione angolare di  $60,5^\circ$ , corrispondente alla gola esterna dell'ancoraggio; nel tratteggio si nota una zona interessata da indicazioni.

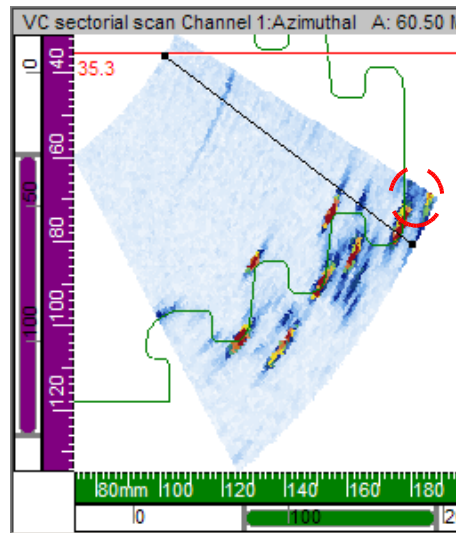


Figura 8 - Vista settoriale in cui si evidenzia, l'indicazione posta a 3226,4 mm sulla circonferenza, a 60,5° (nel tratteggio).

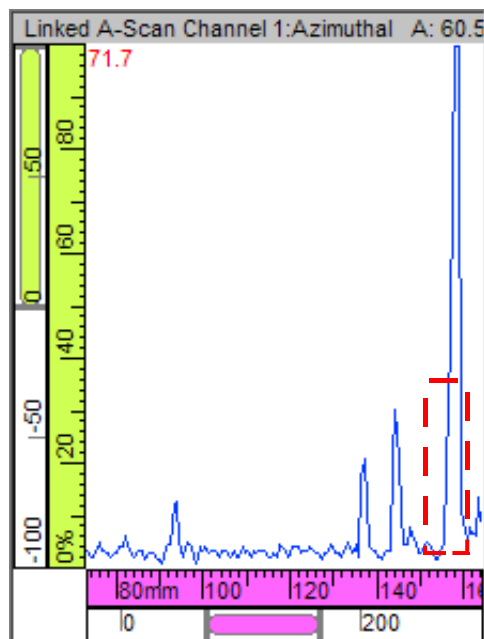


Figura 9 - A-Scan della indicazione di cui sopra (eco nel tratteggio).

La Specifica Tecnica applicata per l'analisi dei dati è stata costruita basandosi sulla risposta di difetti artificiali realizzati sul blocco campione, in due casi è stato possibile, a fronte dei difetti riscontrati, smontare le palette rotanti, eseguire un controllo MT per poter verificare le reale estensione dei difetti; in entrambi i casi è stato confermato il risultato del controllo PA.



Figura 10 - Cricche rilevate con controllo MT, dopo smontaggio delle palette

In un caso si è proceduto anche allo scavo dei difetti rilevati, per poter valutare la precisione del sistema anche nella stima della profondità dei difetti stessi; in questo caso si è verificata la perfetta rispondenza della stima sulla gola più interna, un'accuratezza accettabile su quella intermedia, mentre su quella più esterna si è registrata una leggera sottostima.

Sui rotori ispezionati sono state individuate, in alcuni casi, difettosità sia pure in gradi diversi che hanno spinto l'unità ASP di ENEL Produzione ad effettuare studi di valutazione frattomeccanica per determinare la vita residua dei componenti, che, supportato poi da un monitoraggio periodico per controllare l'avanzamento dei difetti, consente ulteriori periodi di esercizio dei rotori ed evita altresì possibili avarie.

### **CONCLUSIONI**

Il lavoro fin qui svolto non può essere considerato completamente esaustivo, ma sulla base dei risultati ottenuti si rileva molto incoraggiante, contiamo di affinare tutto il sistema di supporto sonda al fine di renderlo ancora più stabile e più versatile nelle diverse configurazioni.

Lo scopo è anche quello di ridurre ulteriormente i tempi di controllo, che comunque già adesso sono nettamente inferiori al controllo MT che richiede lo smontaggio palette, senza per questo considerare la maggior economicità del controllo.

Il programma di prove proseguirà e contiamo di dare di conseguenza debita informazione.

### **Bibliografia**

Documenti interni Enel.



