

I CONTROLLI NON DISTRUTTIVI

Utilità ai fini della SV e dell'Investigazione

del Cap. Alessia Barbieri e Ten. Flaminia Di Pietri



le indicazioni necessarie per l'analisi delle azioni correttive finalizzate all'ottenimento della massima qualità del prodotto.

Ad oggi, i campi di applicazione dei CND sono molteplici e abbracciano svariati settori industriali (chimico, trasporti, infrastrutture, aeronautico, energia convenzionale e nucleare) nei quali la garanzia di sicurezza e qualità sono requisiti fondamentali da perseguire attraverso verifiche periodiche dei componenti e delle strutture sia in fase di produzione che in esercizio.

In tale contesto, l'impiego dei CND, assume una particolare rilevanza nel settore aeronautico

dove la continua ricerca di prestazioni sempre più ambiziose non può prescindere dal conseguimento dell'assicurazione dei massimi livelli di qualità e affidabilità dei materiali utilizzati, anche al fine di garantire lo svolgimento dell'attività di volo in sicurezza.

Gli stessi, inoltre, giocano un ruolo cruciale nell'analisi post-incidente aereo, perché consentono agli investigatori di esaminare i componenti strutturali e i materiali senza causare ulteriori danni, preservando così prove vitali.

In questo modo non solo si accelera il processo investigativo, ma si contribuisce anche a individuare con precisione i fattori che hanno portato all'incidente, migliorando la sicurezza in futuro.

CONTROLLO, ANALISI E RIUSO

Definito il contesto storico di nascita dei CND non rimane che esaminare i principi e i vantaggi di queste tecniche.

I CND si basano sull'uso di metodi di indagine che, in maniera del tutto **non invasiva**, sfruttando opportunamente alcuni principi chimico-fisici di interazione radiazione-materia e/o materia-materia, sono capaci di fornire indicazioni sullo stato difettologico di un particolare.

UN PO' DI STORIA

I Controlli Non Distruttivi (CND) sono un insieme di tecniche volte a valutare l'integrità strutturale di un materiale o di un manufatto, senza alterarne o distruggerne lo stato.

Esami familiari come una TAC o un'ecografia non sono altro che indagini non distruttive impiegate nel settore medico. Basandosi sugli stessi principi fisici, questi controlli possono essere riproposti anche su tante tipologie di materiali.

Allo scopo di introdurre l'argomento, si ritiene opportuno accennare ai motivi che hanno portato alla "nascita" e quindi all'affermazione del controllo, inteso come verifica dello stato difettologico di un componente aeronautico.

È negli anni trenta che si assiste alla nascita dei CND, ma si deve aspettare fino agli anni cinquanta e sessanta perché questi si sviluppino sia come mezzo per la verifica dei requisiti qualitativi e di integrità strutturale di un qualunque manufatto proveniente da processi di fabbricazione industriale, che come servizio dei reparti di collaudo per l'accettazione/scarto dei prodotti.

Inizialmente, il collaudo non forniva tuttavia alcuna indicazione sui margini di miglioramento della qualità del prodotto in quanto non comprendeva una fase importantissima legata all'indagine e interpretazione dei motivi di scarto.

Conseguenzialmente, i CND, nati come mezzo ausiliario di indagine affiancata al collaudo del prodotto finito, cominciarono a essere applicati sempre più a monte lungo l'intero processo produttivo in modo da avere tutte



Memorie storiche dei CND in Aeronautica Militare

Le fasi in cui si articola un Controllo Non Distruttivo prevedono inizialmente il rilevamento dell'eventuale difettologia mediante una o più tecniche di indagine e successivamente una caratterizzazione della stessa (natura, grandezza e localizzazione) con una valutazione della pericolosità del difetto in funzione dei **limiti di accettabilità**.

Oltre lo stato di integrità del particolare, in fase di ispezione, i CND consentono di ricavare informazioni relative alle caratteristiche chimico-fisiche dei materiali quali composizione, proprietà meccaniche e caratteristiche elettriche.

All'interno del Ministero della Difesa, le tecniche CND possono essere suddivise in classiche e avanzate.

Dei metodi classici sono ben noti e definiti i principi fisici di interazione, i limiti, la sensibilità, i vantaggi e gli svantaggi, i campi di applicabilità, ecc.; rientrano tra questi i **Liquidi Penetranti**, la **Magnetoscopia**, le **Correnti Indotte**, i **Raggi X** e gli **Ultrasuoni**.

METODICA CND	DESCRIZIONE
LIQUIDI PENETRANTI	Metodo che sfrutta le capacità di alcuni liquidi di penetrare all'interno di piccole aperture superficiali, come crinature.
MAGNETOSCOPIA	Metodo che impiega un campo magnetico per rilevare difettologie in materiali ferromagnetici.
CORRENTI INDOTTE	Metodo che utilizza l'induzione elettromagnetica per rilevare difettologie in materiali conduttivi.
RADIOGRAFIA	Metodo basato sullo studio dell'assorbimento differenziale delle radiazioni ionizzanti che attraversano il particolare in esame.
ULTRASUONI	CND basato sull'analisi della propagazione delle onde ultrasonore attraverso un materiale

Le metodologie avanzate, invece, sono quelle di più recente introduzione e si sono sviluppate soprattutto a seguito dell'avvento dei materiali compositi e delle strutture incollate per evidenziarne le difettosità tipiche (delaminazioni, danni da impatto e scollamenti) sia in produzione che in esercizio. Tra queste si evidenziano l'**Analisi a Impedenza Meccanica** (MIA), la **Termografia** e la **Shearografia**¹.

La scelta di una metodica rispetto a un'altra, generalmente, deriva da una serie di valutazioni che determinano

¹ Si tratta di un metodo ottico che si basa sull'analisi della deformazione superficiale del componente in esame a partire da una sollecitazione (ad esempio termiche, acustiche o meccaniche)

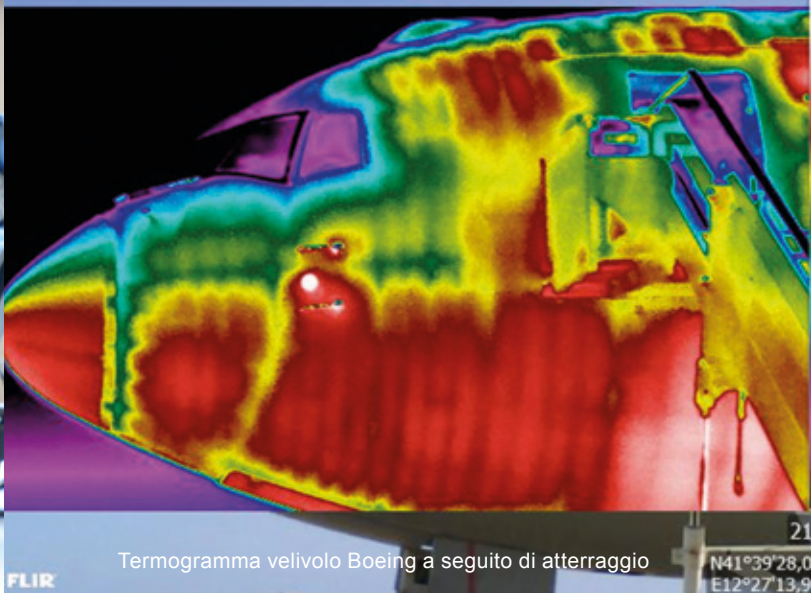
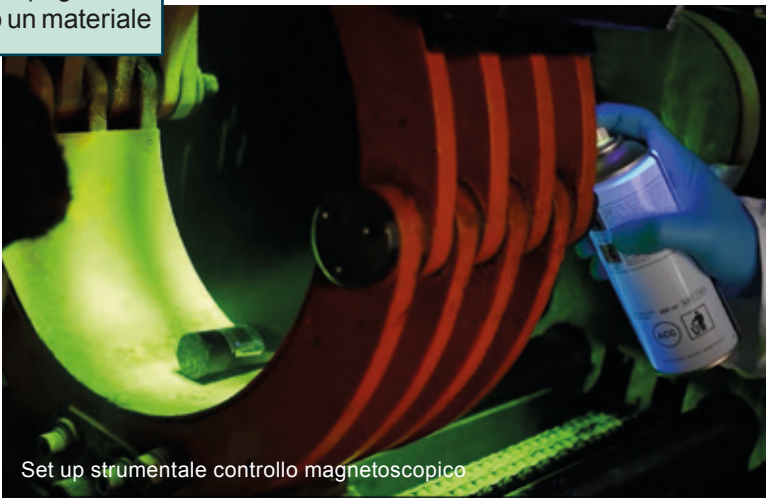


il migliore compromesso tra prestazioni (affidabilità, rapidità ed economicità), materiale e tipologia di difetto (es. superficiale, sub-superficiale o interno).

Di seguito si illustrano alcune casistiche che un operatore CND si trova ad affrontare quotidianamente per la scelta del metodo più opportuno.

Per la ricerca di difetti superficiali su qualsiasi tipologia di materiale (purché non eccessivamente porosa e/o ruvida) si applicano i Liquidi Penetranti; per l'individuazione di difetti superficiali e/o sub-superficiali si impiegano le Correnti Indotte per materiali conduttori e la Magnetoscopia per quelli ferromagnetici. Infine i difetti interni su qualsiasi materiale possono essere ricercati con i Raggi X (a patto che il particolare abbia due facce accessibili) o gli Ultrasuoni.

Perché impiegare un CND invece che un comune metodo di prova di laboratorio a carattere invasivo (analisi chimica, prove meccaniche etc.)?



Due sono i motivi più significativi: non creano alcuna perturbazione irreversibile sul particolare esaminato e ne permettono il rimpiego qualora trovato integro; inoltre la loro affidabilità e rapidità, soprattutto in manutenzione, consente di ottenere una notevole riduzione dei tempi di fermo macchina con rilevanti vantaggi economici.

IL DESTINO NON C'ENTRA...

Qualsiasi componente meccanico, elemento di macchina o parte di impianto può, durante l'impiego operativo, subire danneggiamenti di varia natura. Sebbene, generalmente, tali eventi non abbiano conseguenze gravi, in alcuni casi, tuttavia, possono causare ingenti danni a persone e/o materiali.

Un'attenzione particolare è rivolta al settore militare aeronautico, dove la massimizzazione delle prestazioni (velocità, manovrabilità, capacità di carico) e della capacità operativa impone una robusta *safety culture* al fine di svolgere l'attività di volo conseguendo gli obiettivi con il più alto grado di sicurezza ragionevolmente possibile. In quest'ottica l'Aeronautica Militare, nel quadro

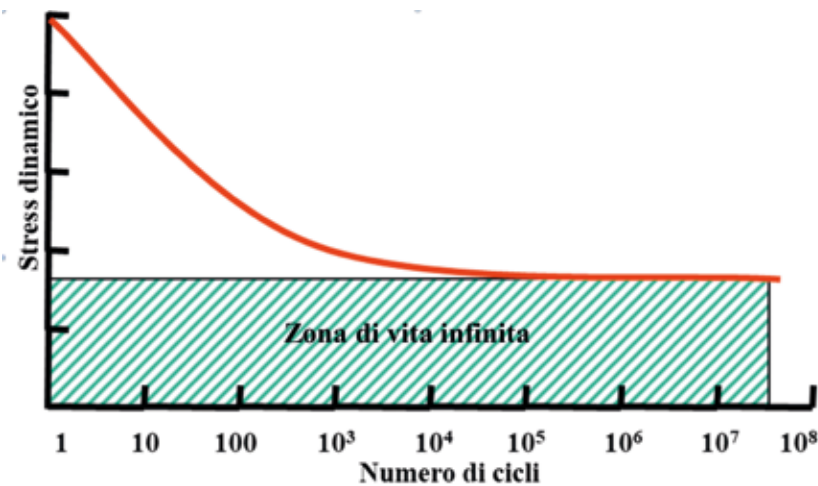


Diagramma stress-n° cicli per un componente progettato secondo un criterio *safe life*



delle attività connesse con la sicurezza del volo, ha sviluppato sempre più la capacità di investigare gli incidenti aerei per determinarne le dinamiche e le cause ai fini di prevenzione. Da qui la necessità di effettuare dei controlli (come i CND) che consentano di verificare l'integrità di strutture e particolari critici.

Per quanto attiene alla prevenzione in senso più ampio invece, il personale del Ministero della Difesa contribuisce alla sicurezza al volo tramite l'ispezione di difetti generati in fase di esercizio, poiché la ricerca di difettologie derivanti dai processi di produzione, ed eventuali azioni correttive, sono responsabilità affidate alle Ditte Produttrici.

Nella realizzazione dei componenti aeronautici, infatti, la sicurezza del volo viene a dipendere principalmente da:

- un'accurata progettazione,
- una scelta idonea del materiale, tenendo conto dei coefficienti di sicurezza,
- e un corretto ciclo di ispezione e manutenzione.

In particolar modo, occorre necessariamente riferirsi ai 3 diversi criteri di progettazione: il criterio *safe life*, *fail safe* e *damage tolerance*.

La tecnica di progettazione *safe life* prevede che, per tutti quei componenti di difficile riparazione o il cui guasto

può causare gravi incidenti, venga stabilito un preciso tempo di impiego sulla base dei risultati ottenuti da test di fatica, non considerando difetti di produzione o danneggiamenti accidentali.

Attraverso questo criterio si progetta la struttura in modo che gli sforzi di esercizio siano inferiori agli sforzi che porterebbero a rottura per fatica.

Non vengono generalmente previste procedure di CND, mentre si stabilisce un tempo di vita operativo oltre il quale il pezzo viene sostituito.

Il rischio insito nell'adozione di questo criterio è che la presenza di eventuali difettosità non considerate, porti alla diminuzione della vita a fatica e, di conseguenza, a rotture durante l'esercizio.

Le strutture complesse progettate secondo il criterio **fail safe**, invece, vengono realizzate in modo che la rottura di un singolo elemento non porti al collasso dell'intera struttura e che il componente danneggiato possa essere individuato e sostituito.

In questo caso i CND vengono sfruttati per stabilire l'integrità di alcuni componenti, ma le ispezioni non sono programmate in fase di progettazione e non sono finalizzate a individuare la formazione e la crescita di piccoli difetti in zone critiche.

“Volendo progettare ali, occorre inserire una corda che deve contenere la trazione e aggiungerne una allentata, nello stesso punto, in modo che, qualora la prima si rompa sotto trazione, l'altra sia in posizione tale da poter svolgere lo stesso compito” (Leonardo da Vinci, 1500)

La maggior parte dei componenti aeronautici è progettata secondo il criterio **damage tolerance**, basato sul principio che un componente debba poter resistere a un guasto, causato da qualche danno preesistente, senza rischiare l'operatività degli altri componenti, finché può essere riparabile.

Questa filosofia presuppone che possa esistere già un difetto nella struttura e prevede due punti chiave: la

possibilità di stabilire il carico di rottura per una dimensione specifica del difetto e di predire il periodo in cui un ulteriore difetto raggiungerebbe una dimensione tale da causare il cedimento della struttura.

In questo caso, i metodi e i tempi di esecuzione dei CND, nonché le zone critiche da ispezionare e le dimensioni limite del difetto, vengono stabiliti durante la fase di progetto grazie alla conoscenza degli spettri di carico e della minima lunghezza di cricca rilevabile (massimo difetto iniziale accettabile).

Sulla base di questi parametri si stabilisce la velocità di crescita della cricca e la resistenza residua della struttura al progredire del danneggiamento.

Durante l'intervallo del “tempo di rottura” vengono fissate almeno 3 ispezioni CND.

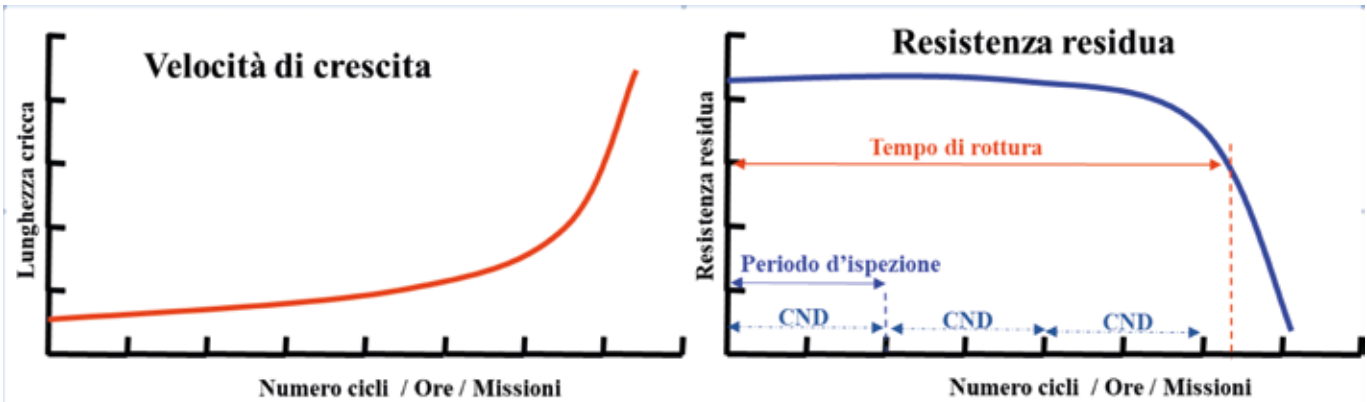
Nell'alveo della sicurezza del volo, il Reparto Tecnologie Materiali Aeronautici e Spaziali (RTMAS) della Divisione Aerea Sperimentazione Aeronautica e Spaziale (DASAS) di Pratica di Mare svolge un ruolo determinante e unico nel suo genere attraverso l'elaborazione, la validazione delle procedure operative e la sperimentazione di tecniche innovative dei CND.

Inoltre, è l'unico ente del comparto Difesa riconosciuto ufficialmente dalla Direzione degli Armamenti Aeronautici e per l'Aeronavigabilità (DAAA) come Centro di Addestramento e Qualificazione del personale operante nel settore CND.

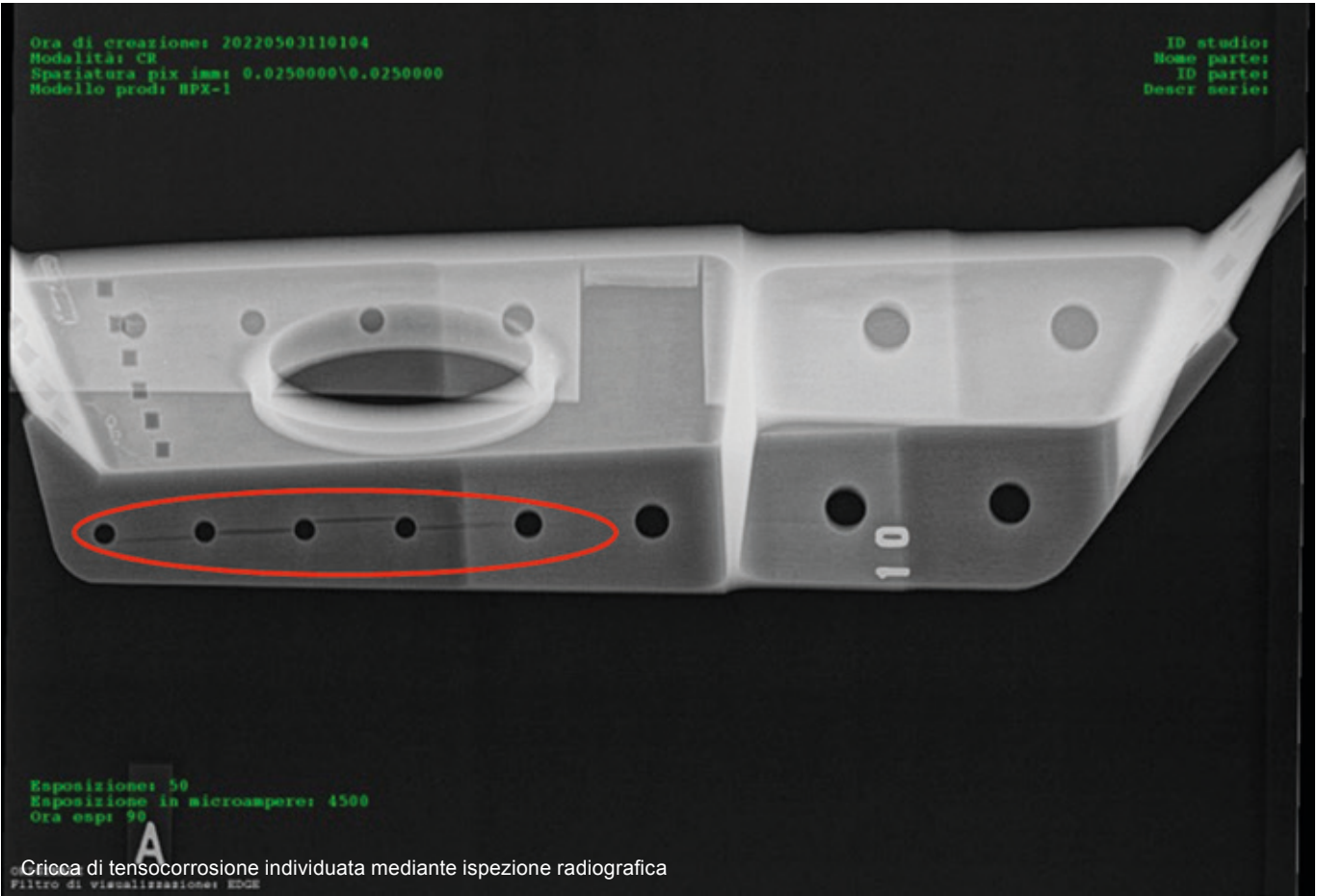
Per evidenziare i molteplici ambiti di rilevanza di un controllo CND, a titolo di esempio, si riportano 2 indagini effettuate recentemente dal RTMAS.

L'importanza di un corretto ciclo di ispezione è stata determinante, per esempio, nel rilevamento di difetti sui fori di fissaggio alla fusoliera della manichetta di rifornimento in volo del velivolo Tornado, tramite il controllo a Correnti Indotte, previsto ogni 150 FH, eseguito presso il RTMAS. In questo caso la corretta investigazione ha consentito di riparare il particolare e permetterne il riutilizzo in totale sicurezza.

La pericolosità di un eventuale incidente derivante dalla mancata individuazione di questa tipologia di



Diagrammi per componenti progettati secondo il criterio del *damage tolerance*



difetti, lascia intuire l'importanza dei metodi di CND nel settore aeronautico nelle operazioni di manutenzione, controlli la cui efficacia si riverbera nel contributo a una maggior sicurezza durante il volo.

I difetti, infatti, possono determinare concentrazioni locali di sollecitazioni che possono portare al superamento dei carichi tollerati dal particolare, con conseguente rottura dei componenti anche in tempi molto rapidi.

Come precedentemente riportato, la scelta del materiale idoneo (tipo di lega metallica o composito) in base a valutazioni su peso specifico, caratteristiche meccaniche e relativi costi, costituisce un altro fattore chiave nella realizzazione dei componenti aeronautici.

Il secondo caso riguarda lo studio effettuato dal RTMAS sul fenomeno di tenso-corrosione riscontrato su diversi particolari in lega di alluminio 2024-T351 di un velivolo da trasporto, che ha consentito di innescare una *Defect Investigation* con lo scopo di indagare le cause delle *failure* osservate e di stabilire la criticità dei difetti al fine di valutare alcune possibili azioni preventive e/o correttive.

Le indagini hanno permesso di comprendere come il processo di foratura e chiodatura abbia portato alla rimozione dello strato protettivo, generando un ambiente

favorevole al fenomeno di tenso-corrosione.

Le azioni mitigatrici apportate, hanno previsto una modifica nella foratura degli organi di collegamento, una variazione del processo di verniciatura e l'introduzione di CND periodici.

In conclusione si può affermare che CND efficaci e affidabili sono essenziali per mantenere un'elevata capacità di rilevazione del danno e della sua progressione, solo in questo modo si potrà contribuire alla riduzione di inconvenienti di volo perché come dice il detto aeronautico *“Volare è utile, ma atterrare è necessario”*.

BIBLIOGRAFIA

- C. J. Hellier, *“Handbook of Nondestructive Evaluation 3rd Edition”*, McGraw-Hill Education, 2020
- G. Rinaldi, *“Materiali per l'ingegneria”*, Siderea Roma, 2002