

## CONVEGNO A.I. Per.T. – Roma 21 novembre 2003

### “Test non distruttivi”

Relatore : Andrea Cambiaso

Un cordiale saluto a questa qualificata platea, parlare di nuove tecnologie, e di quanto queste ci possano aver migliorato la vita, credo non sia a me facile perché inizio a credere che tutta questa multimedialità abbia solo influito sulla rapidità d'esecuzione di talune operazioni ma, nel contempo, abbia reso la ns. qualità di vita più bassa.

Questa esplosione di modernità, nella casa di un artigiano, ha creato delle idiosincrasie che appaiono incomprensibili ma che ci trovano a combattere con microchip, e-mail ed altri nomi simili, quando cerchiamo di usare un chiodo per attaccare un foglio al muro.

Le nuove tecnologie hanno il merito di fornire informazioni più rapidamente, e di dare risposte a test prima ineseguibili, ma il tutto deve essere letto analizzato e digerito.

Inoltre va ricordato, che noi tutti abbiamo sempre apprezzato le caratteristiche della ns. “casta” tra cui la tradizione, la marineria, le regole scritte o tramandate verbalmente, ed oggi siamo nel terzo millennio, all'avvento della cibernetica complessiva ad eseguire sempre il medesimo lavoro.

Questa premessa ad ogni modo, non mi esime dal riconoscere che, in alcuni casi, i miglioramenti si sono visti; è il caso dei CND, mio argomento odierno che sono divenuti sempre più affidabili e danno esiti visivamente più apprezzabili grazie alla modernità tecnologica.

Pur riconoscendo che non dirò nulla di clamoroso né di avveniristico, cercherò, a mo' di promemoria, di rivedere con voi alcuni sistemi di accertamento che offrono apprezzabili risultati dal punto di vista qualitativo, offrendo il grande vantaggio di lasciare i materiali intatti nelle loro caratteristiche fisiche e nelle loro proprietà dopo il test.

- i sistemi di analisi che si basano su queste caratteristiche vengono definiti CND.

La loro importanza è intrinseca in ciò che si esegue per accertare eventuali difetti, anomalie poiché alla fine dei test l'oggetto delle analisi può essere utilizzato senza essere stato menomato nelle sue caratteristiche proprietà e funzioni (sempre che fosse integro)

### ESAME VISIVO (VT)

Il primo vero CND e il più intuitivo di tutti è il controllo visivo, ovvero l'analisi ad occhio nudo o coadiuvato da lenti di ingrandimento di un oggetto di un materiale per accertare anomalie rispetto alla norma.

L'utilizzo di un senso per accertare condizioni di anomalia si basa fondamentalmente sulla sensibilità dell'operatore e sulla sua esperienza ma, in molti casi, l'occhio allenato ed attento fornisce le prime indicazioni di accadimenti o di non accadimenti.

### Principio del metodo

Per esame visivo, s'intende l'ispezione degli oggetti ad occhio nudo o col solo ausilio di lenti od endoscopi a basso ingrandimento.

Come prova non distruttiva, l'esame visivo assume un ruolo importantissimo e soltanto agli inesperti può apparire una tecnica semplice o banale. In realtà, sebbene sia il metodo più naturale, richiede una discreta predisposizione all'osservazione ed una notevole esperienza, affinché possa rivelare all'operatore tutte le informazioni utili, potenzialmente disponibili.

Ovviamente l'esame visivo non può che rivelare difetti macroscopici superficiali e potrebbe sembrare inutile quando si debbano ricercare eventuali difetti interni. In realtà consente subito di stabilire quali siano le superfici più idonee da scandire con eventuali sonde atte allo scopo (per esempio le sonde ad ultrasuoni).

### Applicazione

Questa tecnica trova applicazione nel controllo di saldature, getti, microfusioni e componenti meccanici in genere.

### CONTROLLI NON DISTRUTTIVI MEDIANTE L'UTILIZZO DI SISTEMI (I)

I Controlli Non Distruttivi (*non destructive evaluation*) sono oramai entrati in una fase di piena maturità sia scientifica che tecnologica. La loro importanza, come ho già detto, deriva dalla possibilità di caratterizzare materiali e ispezionare componenti in modo estremamente efficiente, rapido, automatizzabile ed economico. Consentono inoltre grandi economie, sia nel processo produttivo che nella manutenzione, in quanto eliminano la necessità di sovrastimare i margini di sicurezza e affidabilità, garantendo la qualità del prodotto finale. Tra le tecnologie maggiormente utilizzate si possono annoverare le tecniche ultrasoniche e le tecniche termografiche. Inoltre occorre sottolineare come tali metodologie possano trovare applicazione anche in campo biologico, biomedico e biotecnologico (es. tecniche NMR, tecniche di raggi X a basse dosi, etc.).

Le Prove non Distruttive (PND) sono costituite da un vasto insieme di tecniche che permettono il monitoraggio di particolari o componenti senza alterarne assolutamente le caratteristiche, in modo che sia possibile l'utilizzo immediato. I metodi si basano sull'utilizzo di radiazioni elettromagnetiche a varia potenza (e quindi diverse lunghezze d'onda), che coprono diverse regioni spettrali, o su liquidi penetranti.

Le tecnologie utilizzate comunemente per i controlli non distruttivi dei materiali sono le seguenti:

Ø Metodi radiografici

Ø Metodi ultrasonici

Ø Magnetoscopia

Ø Liquidi penetranti

Ø Correnti indotte

Il campo di applicabilità delle prove non distruttive, spazia dall'industria meccanica, all'aeronautica, all'industria elettromeccanica e a tutta la produzione di componentistica in genere ed è intersettoriale nel suo utilizzo.

### Ø METODI RADIOGRAFICI

Tra le metodologie più collaudate nei controlli non distruttivi si ha la *radiografia* che sfrutta fasci di raggi X. Come noto, i raggi X si propagano in linea retta e sono in grado di penetrare la materia, subendo attenuazione differente a seconda degli elementi che la costituiscono. Quando arrivano su un convertitore (pellicola radiografica, schermi fluorescenti ecc.) producono immagini in chiaro-scuro dell'oggetto attraversato. Qualsiasi alterazione della struttura dell'oggetto attraversato dalla radiazione si visualizza come una macchia di luminosità differente (maggiore o minore) rispetto a quella del materiale costituente il pezzo. Negli ultimi anni, la tecnologia ha permesso di migliorare notevolmente la metodologia, i cui maggiori difetti risiedono nella lentezza e nell'alto costo dei materiali rivelatori. Ora in luogo della pellicola si utilizzano specchi deviatori ed opportune telecamere e schermi TV, e si registrano segnali digitalizzati e memorizzati: si definisce questa evoluzione *radioscopia*.

La tecnica si può applicare alla maggior parte dei materiali utilizzati nella produzione e si possono osservare difetti a profondità maggiore rispetto agli altri metodi. Ha però lo svantaggio di utilizzare radiazioni pericolose che richiedono la rigida osservazione delle regole di controllo e un conseguente aumento dei costi. Dal punto di vista dell'efficacia, questa tecnica non permette l'osservazione di difetti bidimensionali (cricche) quando il loro orientamento sia obliquo rispetto all'asse del fascio di radiazioni.

L'esame radiografico offre il vantaggio della rappresentazione diretta e permanente delle discontinuità. La rappresentazione diretta consiste nel segnalare la discontinuità con la sua forma reale, corrispondente alla sua proiezione sul piano della pellicola, essa si contrappone alla rappresentazione indiretta che consiste nel segnalare la discontinuità in modo convenzionale (es. ultrasuoni). Il carattere permanente del segnale radiografico consente l'esame dei risultati anche a distanza di tempo ed in luoghi diversi da quello di esecuzione dell'esposizione.

### Ø ULTRASUONI (UT) Il principio del metodo

Il metodo di rivelazione dei difetti con ultrasuoni è l'applicazione tecnologica del fenomeno dell'eco. Questo è generato dalla riflessione delle onde sonore che rimbalzano contro la superficie di un ostacolo, e ritornano all'orecchio dell'ascoltatore.

Nel controllo ad ultrasuoni le onde (ultrasuono e quindi non udibili dall'orecchio umano) sono generate sfruttando le proprietà piezoelettriche di alcuni materiali; queste proprietà consistono nella capacità di questi materiali di contrarsi e riespandersi quando sottoposti all'azione di un campo elettrico alternato. Se il campo elettrico alternato possiede adatta frequenza, le vibrazioni del materiale

producono onde elastiche di frequenza ultrasonora. Il fenomeno è reversibile; in altre parole lo stesso materiale capace di emettere ultrasuoni, può generare un segnale elettrico se investito da un fascio d'onde elastiche.

Le onde ultrasonore posso essere inviate nel materiale da esaminare ed in esso si propagheranno con la stessa frequenza del generatore e con una velocità che dipende dal materiale attraversato. Quando il fascio incontra un ostacolo sarà riflesso, assorbito, deviato o diffratto secondo le leggi comuni a tutti i fenomeni di propagazione delle onde. Le onde riflesse possiedono la stessa frequenza di quelle incidenti, ma sono sfasate rispetto ad esse, anche in funzione del cammino percorso, cioè della distanza del trasduttore dai vari punti della superficie dell'ostacolo. Analoga sorte spetta alle onde diffratte. L'energia assorbita dal difetto colpito dalle onde incidenti fa sì che esso possa vibrare emettendo a sua volta onde elastiche di frequenza tipica della sua risonanza e variamente sfasate. Dunque il segnale che ritorna verso il trasduttore è molto complesso, perché è la risultante della sommatoria di molte onde di uguale frequenza, ma sfasate, e di altre onde di frequenza diversa, pure sfasate fra loro. Tale segnale contiene tutte le informazioni sulle dimensioni, geometria e natura dell'ostacolo incontrato dal fascio d'ultrasuoni incidenti. Come detto il fenomeno fisico della piezoelettricità è reversibile; perciò quando l'onda riflessa od emessa dall'ostacolo ritorna alla sonda che l'ha generata, darà un segnale elettrico che, opportunamente amplificato e filtrato, potrà essere visualizzato sul quadrante dell'oscilloscopio, di cui sono sempre dotati gli strumenti rivelatori d'ultrasuoni.

#### Applicazione

Relativamente alle prove, gli ultrasuoni trovano larga applicazione nel controllo delle saldature, delle fusioni di ghisa sferoidale, della presenza di inclusioni in prodotti di laminazione, degli spessori.

### Ø MAGNETOSCOPIA

Questo metodo si basa sulla magnetizzazione indotta del materiale in una data direzione, mediante l'utilizzo di magneti permanenti oppure correnti continue o alternate ad alta frequenza, a seconda del materiale esaminato. Il campo magnetico così generato intorno ad un particolare è indicato dalle cosiddette linee di campo. Se si cosparge il pezzo da analizzare con una dispersione di polvere fine che abbia caratteristiche ferromagnetiche, la polvere si orienterà secondo le linee di campo. Dato che il flusso magnetico in un materiale è costante, la polvere sarà uniformemente distribuita. In presenza di discontinuità anche molto sottili, sulla superficie si formeranno degli accumuli di polvere, perché si forma una barriera per il flusso magnetico.

Trattandosi di una metodologia che utilizza il magnetismo, essa può essere applicata unicamente a materiali ferromagnetici, ma è estremamente sensibile a difetti superficiali e subsuperficiali, ed ha il vantaggio di permettere l'uso di lettori ottici e di automatizzare completamente l'interpretazione dei risultati.

I difetti si osservano meglio se sono perpendicolari alle linee di campo, ed al limite possono non essere osservabili se sono paralleli. Inoltre l'interpretazione dei risultati è soggettiva, anche se negli anni sono state sviluppate tabelle che facilitano molto il compito degli operatori.

## Ø LIQUIDI PENETRANTI

Si tratta di un metodo molto pratico perché applicabile a qualsiasi tipo di materiale non poroso. Il procedimento prevede l'immersione del pezzo in una vasca contenente un liquido a bassa tensione superficiale che penetra nelle discontinuità superficiali, se presenti. Dopo pochi minuti si estrae dalla vasca il pezzo e si asciuga, asportando l'eccesso di liquido tramite lavaggi successivi, dopodiché si fa essiccare in stufa. Applicando al pezzo asciutto una polvere bianca (rivelatore), per assorbimento essa estrae il penetrante dai difetti, formando macchie in corrispondenza della discontinuità stessa.

Esistono vari tipi di liquidi penetranti, sia lavabili in acqua che lipofili (oli, grassi), ed anche liquidi colorati o fluorescenti, che aumentano molto la sensibilità. In questo caso si fa uso di lampade a raggi ultravioletti oppure si opera al buio, in modo da far risaltare ogni minima emissione fluorescente.

Anche per questa metodologia sono stati perfezionati più modelli di analisi: per grandi produzioni di piccoli particolari si campiona in modo automatizzato e si compie l'intero processo di controllo con macchinari esterni. Per controllare ad esempio saldature in opera o grandi opere non rimovibili si utilizzano prodotti confezionati, quali bombolette spray.

Si tratta quindi di una tecnica che presenta notevoli vantaggi sia per la varietà di materiali e di manufatti che è possibile controllare, sia perché consente l'immediata rilevazione dell'ubicazione del difetto. Per contro, non è attuabile su superfici molto rugose o porose, e non si può di norma esaminare zone non facilmente accessibili. Non rileva inoltre difetti racchiusi sotto la superficie del prodotto esaminato.

## Ø CORRENTI INDOTTE

Questo metodo si avvale di bobine percorse da correnti alternate, le quali producono campi magnetici che generano correnti indotte nel pezzo da esaminare. Ovviamente il materiale da esaminare deve essere in grado di condurre l'elettricità. La corrente indotta modifica l'impedenza totale della bobina. Se sono presenti difetti nella struttura in esame, varierà il trasporto di corrente indotta e di conseguenza l'impedenza misurata. Il tutto funziona quindi come un classico trasformatore che sfrutti un avvolgimento primario ed uno secondario. Si misurano quindi due grandezze: ampiezza ed angolo di fase della bobina, che sono correlabili in grafico.

Tralasciando per brevità la laboriosa teoria a supporto della tecnica, si può accennare alle due modalità di utilizzo nei controlli. La prima è a bobina esterna (sonda): in questo caso avvicinando ed allontanando la bobina dal pezzo in esame, vi si producono correnti e si genera un campo magnetico che si oppone a quello della bobina. La misura dell'interazione materiale-bobina a diverse distanze del palpatore produce curve caratteristiche, dalle quali si deduce se l'andamento è anomalo. Con questo metodo, misurando la conducibilità, si possono rivelare discontinuità o misurare spessori ricoprenti non conduttivi (vernici) o spessori di rivestimenti galvanici. La seconda modalità è detta a bobina avvolgente e si applica a prodotti lunghi (tubi), che percorrono l'interno dell'avvolgimento e costituiscono veri e propri circuiti secondari. Nel caso di cilindri perfetti è addirittura possibile il calcolo teorico

dell'impedenza prima della misura, senza riferirsi a curve sperimentali precedenti.

Questa tecnica offre notevoli vantaggi, sia per la buona sensibilità che per la rapidità di esecuzione ed i bassi costi di esercizio. Non si può però applicare a materiali non conduttori e richiede operatori estremamente esperti per interpretare il tipo di difetto.

In dipendenza a quanto sin ora detto, auspico un sempre maggior utilizzo di queste tecniche, per avvalorare quanto noi periti cerchiamo di accertare tutti giorni sul campo, per offrire ai nostri mandanti un prodotto sempre più qualificato e documentato.

Concludo ringraziandovi per la partecipazione a questo consesso, e con sincera gratitudine, per averci offerto la Vs. disponibilità, vogliate accogliere i sensi della mia più alta considerazione.

*Andrea  
Cambiaso*

Schede riassuntive

## I CONTROLLI NON DISTRUTTIVI REGOLE ED ANALISI ESEGUIBILI

I Controlli non Distruttivi " CnD " o prove non distruttive "PnD" sono un insieme di pratiche diagnostiche, atte a rilevare anomalie dei materiali, componenti di macchinari, strutture saldate, progetti in fase di studio o collaudo, ecc.;

I " CnD " sono definiti tali, in quanto consentono di valutare la difettosità o le caratteristiche strutturali dei materiali senza alterarne lo stato fisico o la geometria.

E' però importante notare, che i vari metodi " CnD ", risultano spesso complementari tra loro, quindi per una adatta scelta delle tecniche di controllo è necessario considerare diversi fattori:

### 1. PROPRIETÀ FISICHE:

Ferromagnetismo, conducibilità elettrica, acustica, opacità ai Raggi X, porosità del materiale.

### 2. STATO DEL MATERIALE:

Laminato, forgiato, saldato, estruso ecc.

### 3. DIFETTI DA RICERCARE:

Tipo, posizione, entità ecc.

### 4. GEOMETRIA:

Forma e dimensioni, grado di finitura superficiale, ecc.

(VT) ENDOSCOPIA-VIDEOISPEZIONE Tecnica per ricercare anomalie superficiali internamente a dei particolari, è un esame visivo.

APPLICAZIONE: Ovunque vi sia un accesso verso l'interno del particolare da controllare es. tubi saldati, scarichi motori, corrosione interne a linee o serbatoi, ecc.

PRODOTTI CONTROLLABILI: Motori, condotte di fluidi, serbatoi, vani nascosti, ecc.

VANTAGGI: Permette un controllo visivo a distanza senza smontare particolari da controllare.

SVANTAGGI: Impossibilità di utilizzo senza un accesso diretto alla zona d'esame o con geometrie particolari.

(IT) TERMOGRAFIA Tecnica per la ricerca delle differenze termiche anomale

APPLICAZIONE: Ovunque vi sia una differenza termica che supponga una anomalia eventuale, es. settore impiantistica, chimico, metallurgico, elettrico, edile ecc.

PRODOTTI CONTROLLABILI: Surriscaldamenti di motori elettrici, contatti elettrici, forni e caldaie, scambiatori di calore, controllo di processo, rilievi d'umidità, ecc.

VANTAGGI: Permette un controllo visivo all'infrarosso a distanza, vedendo ciò che il nostro occhio non vede.

SVANTAGGI: Impossibilità di utilizzo in particolari condizioni

(UT) ULTRASUONI Tecnica impiegata nella ricerca di difetti nei materiali e Spessimetrie

APPLICAZIONE : su tutti i materiali (metallici e non-metallici), in grado di far propagare le onde ultrasonore con frequenze comprese tra i 16 KHz e i 20 MHz. ( Ghisa, acciai al C., acciai Inox, alluminio e leghe leggere, materiali compositi, calcestruzzo, ceramiche, materiali plastici, legno, ecc.)

PRODOTTI CONTROLLABILI: Laminati, forgiati, trafilati, fusioni, getti, placcature, saldature, tubi, ecc.

VANTAGGI : Possibilità di stabilire profondità e posizione dei difetti all'interno dei materiali, misure di spessori.

SVANTAGGI: Impossibilità di utilizzo su: materiali ad alta attenuazione acustica, geometrie particolari.

(PT) LIQUIDI PENETRANTI Tecnica impiegata nella ricerca di difetti superficiali

APPLICAZIONE: su tutti i materiali non assorbenti o porosi. ( Ghisa, acciai al C., acciai Inox, alluminio e leghe leggere, materiali compositi, ceramiche, ecc.)

PRODOTTI CONTROLLABILI: Laminati, forgiati, trafilati, fusioni, getti, placcature, saldature, tubi, ecc.

VANTAGGI: Possibilità di utilizzo su materiali non ferromagnetici.

SVANTAGGI: Impossibilità di utilizzo su: materiali porosi, verniciati, è necessaria una buona pulizia

(MT) MAGNETOSCOPIA Tecnica impiegata nella ricerca di difetti superficiali o sub-superficiali.

APPLICAZIONE: su tutti i materiali ferromagnetici. ( Ghisa, acciai al C. ecc. )

PRODOTTI CONTROLLABILI: Laminati, forgiati, trafilati, fusioni, getti, , saldature, tubi, lavorati di macchina, ecc.

VANTAGGI: Non è necessaria una perfetta pulizia dei pezzi da controllare.

SVANTAGGI: Possibilità di utilizzo unicamente su materiali ferromagnetici.

(RT) RADIOGRAFIA Tecnica impiegata nella ricerca di difetti interni nei materiali

APPLICAZIONE: su tutti i materiali, Ghisa, acciai al C., acciai Inox, alluminio e leghe leggere, materiali compositi, ceramiche, plastiche ecc.

PRODOTTI CONTROLLABILI: Giunti saldati, laminati, forgiati, trafilati, fusioni, getti, tubi, lavorati di macchina,

VANTAGGI: Permette di rilevare difetti interni ed esterni nel materiale controllato.

SVANTAGGI: Impossibilità di utilizzo su materiali opachi alle radiazioni o con geometrie articolari.