



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Università degli studi di Padova

Facoltà di Ingegneria

Dipartimento di Ingegneria Meccanica

Corso di laurea triennale in Ingegneria dei Materiali

Tesi di Laurea

**Applicazione degli NDT per il controllo di
strutture metalliche**

*Applications of NDT for the metallic
structures control*

RELATORE: Prof.ssa Irene Calliari

CORRELATORE: Antonio Bovo

Laureando

Stanco Marco

Matricola 560887 IR

Anno accademico 2010/2011

INDICE

1. INTRODUZIONE	5
1.1 PRINCIPI ALLA BASE DELLE RADIO E GAMMA GRAFIE.....	5
1.2 RAGGI X.....	6
1.2.1 Nozioni storiche.....	6
1.2.2 Produzione di raggi X.....	6
1.3 RAGGI GAMMA.....	8
1.3.1 Nozioni storiche.....	8
1.3.2 Produzione e nozioni generali dei gamma.....	9
1.4 IMPRESSIONE DELLA LASTRA.....	10
2. APPARECCHIATURE	11
2.1 APPARECCHIO A RAGGI GAMMA.....	11
2.1.1 Scheda tecnica Gammamat TSI.....	11
2.1.2 Gammamat TSI 3/1.....	12
2.2 APPARECCHIO A RAGGI X.....	13
2.2.1 Scheda tecnica Eresco 65MF3.....	13
2.2.2 Eresco 65MF3.....	14
2.3 LASTRE.....	15
2.4 SVILUPPATRICE.....	16
2.5 SICUREZZA.....	17
3. SCELTE TECNICHE	18
3.1 UTILIZZO IR-192.....	18
3.2 SCELTA PELLICOLA.....	20
3.3 DOPPIO O SINGOLO FILM.....	20
3.4 TEMPI ESPOSIZIONE.....	22
3.5 IQI.....	23
3.6 NORMATIVE VIGENTI.....	23
4. APPLICAZIONI PRATICHE	24
4.1 TUBAZIONI METANODOTTI.....	24
4.2 FUSIONI IN ACCIAIO.....	26
4.3 PROVINI DI SALDATURA.....	28
5. CONCLUSIONI	30
 Bibliografia.....	 31

1. INTRODUZIONE

Durante il periodo di permanenza all'interno dell'azienda "Antonio Bovo C.N.D.", affermata azienda nel campo degli NDT (Non-Destructive Testing), ho potuto partecipare attivamente a molti interventi di controllo utilizzando quasi tutti i metodi di indagine studiati nel mio percorso di studi. In particolar modo ho potuto approfondire i controlli radiografici basati sia sui raggi X che sui raggi gamma. In questo elaborato mi propongo di fornire metodi, dati, procedure e nozioni che possano far comprendere a pieno i possibili risultati e le problematiche a volta risolvibili, altre volte limiti che per la tecnologia attuale non possono essere superati.

1.1 PRINCIPI ALLA BASE DELLE RADIO/GAMMA GRAFIE.

Il metodo di controllo è fondato sull'utilizzo di radiazioni elettromagnetiche penetranti (raggi X e raggi gamma). In funzione dei tipi di controlli da fare, dalle esigenze tecniche dei clienti, dalle normative da seguire si usano principalmente due fonti di radiazione per ottenere le lastre radiografiche: raggi X oppure raggi γ . Le radiazioni elettromagnetiche vengono attenuate in proporzione allo spessore attraversato ed in presenza di volumi, di un medesimo materiale, meno densi (difetti), impressionando maggiormente la lastra posta a contatto dello spessore dalla parte opposta della sorgente. La trattazione va fatta in modo separato perché sono onde elettromagnetiche caratterizzate da grandezze diverse, sono originate in modo diverso tra di loro e il loro impiego dà origine a risultati diversi.

Entrambi i tipi di radiazioni elettromagnetiche utilizzate sono radiazioni ionizzanti. Con questo termine si indica la capacità di queste onde di poter ionizzare gli atomi o le molecole con i quali vengono in contatto. Da sempre l'uomo è soggetto a radiazioni ionizzanti naturali, alle quali si dà il nome di "fondo di radioattività naturale". Per la presenza di queste radiazioni ogni uomo assorbe in media una quantità di 2,4 millisievert/anno. L'unità di misura usata è il Sievert il cui nome deriva da quello dello scienziato svedese Rolf Sievert; esso è l'unità di misura della dose equivalente di radiazione nel sistema internazionale ed è una misura degli effetti e del danno causati dalla radiazione su un organismo. In pratica: $1 \text{ Sv} = (1 \text{ J})/(1\text{Kg})$.

La caratteristica di una radiazione di poter ionizzare un atomo, o di penetrare più o meno all'interno della materia, dipende oltre che dalla sua energia anche dal tipo di radiazione e dal materiale con il quale avviene l'interazione.

Dopo un'introduzione generale passiamo ora a trattare in particolare i differenti tipi di raggi utilizzati nei controlli non distruttivi.

1.2 RAGGI X

1.2.1 Nozioni storiche.

Prima di arrivare all'attuale utilizzo dei raggi X in campo medico ed industriale ci furono (com'è naturale) molti passaggi obbligati come sperimentazioni e tentativi di dare una struttura formale a questi raggi.

Il primo a studiarli, senza rendersene conto, è stato Crookes che investigò gli effetti di scariche di energia in gas nobili. Egli costruì quelli che ora ci sono noti come “Tubi di Crookes”. Nelle sue sperimentazioni egli notò anche che mettendo delle pellicole fotografiche nelle vicinanze dei tubi alcune si impressionavano, tuttavia non investigò oltre in questa direzione. Proprio questo aspetto è il principio base dell'applicazione dei raggi X nei controlli non distruttivi.

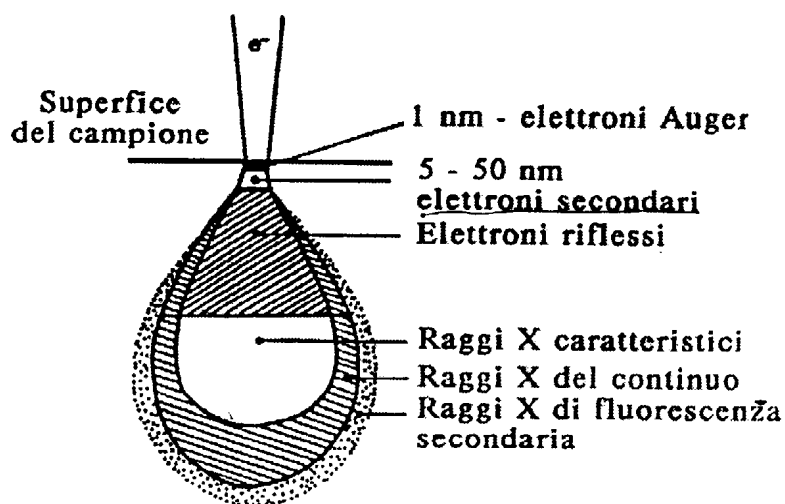
Nel 1892 lo studioso Hertz dimostrò che i raggi catodici potevano passare attraverso sottili fogli di metallo (alluminio) contribuendo alla conoscenza dei raggi X e ponendo così le basi per il loro utilizzo nei controlli industriali. Studi proseguiti poi da un suo studente Lenard che però non si rese conto di produrre quelli che poi saranno noti come raggi X. Già nel 1887 Nikola Tesla aveva iniziato a studiare i raggi X utilizzando i propri apparecchi e implementando il suo lavoro con l'aiuto dei tubi di Crookes. Questo scienziato fu il primo ad avvertire la comunità scientifica dei rischi biologici connessi all'esposizione a questo tipo di radiazione.

In seguito Von Helmholtz tentò una descrizione matematica della radiazione X, a partire dalla teoria elettromagnetica della luce. L'8 novembre 1895 Wilhelm Röntgen iniziò a studiare i raggi X mentre sperimentava con raggi nel vuoto; il 28 Dicembre 1895 scrisse un saggio sulle sue scoperte: “Su un nuovo tipo di raggi: una comunicazione preliminare”, questo scritto divenne il primo annuncio formale e pubblico dei raggi X. In seguito alle sue scoperte fu insignito del premio Nobel per la fisica, contestato fortemente da Lenard che dichiarava di essere stato il primo a scoprirli.

1.2.2 Produzione di raggi X

Prima di parlare della produzione di raggi X mi sembra doveroso fare una premessa riguardo le interazioni che possono incorrere tra un raggio di elettroni ed un solido, visto che è proprio questa l'interazione alla base della produzione di raggi X.

Quando un fascio di elettroni colpisce un solido si verificano una serie di conseguenze e diverse emissioni.



Una parte degli elettroni incidenti, detti anche elettroni primari, vengono riflessi mantenendo l'energia iniziale, essi prendono il nome di elettroni retrodiffusi. Gli elettroni primari, non riflessi, perdono la loro energia trasferendola

agli elettroni del solido; quest' ultimi ora possono diffondere verso la superficie ed una frazione di essi sfuggirà all'esterno. Questi elettroni, di energia molto bassa (qualche decina di eV), sono detti elettroni secondari. Se gli elettroni incidenti hanno energie sufficientemente elevate, essi sono in grado di ionizzare i livelli energetici più interni degli atomi del materiale. Questi atomi poi possono tornare ad uno stato energetico stabile, lo stato fondamentale, mediante l'emissione di un fotone X od anche di un elettrone: il primo fenomeno è detto fluorescenza, mentre il secondo è noto come emissione di elettroni Auger. Sia i raggi X che gli elettroni Auger emessi hanno energie caratteristiche degli atomi da cui provengono e possono quindi essere utilizzati per ottenere informazioni sulla composizione chimica del campione.

Bisogna anche ricordare e tenere ben presente che, in generale, le emissioni indotte dal raggio incidente provengono da volumi di materiale molto diversi a seconda del tipo di emissione considerata.

Discusso su come vengono prodotti i raggi X si può passare al lato tecnico e applicativo riguardante il loro utilizzo nella radiografia industriale.

I raggi X vengono prodotti dall'anodo di un'ampolla in cui, nel vuoto, gli elettroni liberati da un filamento e accelerati da alta tensione vanno a colpire una piastrina di tungsteno opportunamente orientata (struttura nota come tubo a raggi catodici). L'ampolla fino a pochi anni fa era di vetro e la tensione (centinaia di migliaia di Volt) veniva prodotta da un comune trasformatore in olio. I generatori di raggi X di ultima generazione hanno l'ampolla in materiale metalceramico e la tensione viene elevata con circuiti elettronici. Tutto ciò ha permesso la costruzione di apparecchiature più robuste ma allo stesso tempo più leggere. Gli apparecchi più usati (per gli spessori di acciaio più comuni 10÷200 mm) vanno da 200 a 300 kV e pesano all'incirca una quindicina di chili. Quelli più utilizzati sono apparecchi che in genere emettono un fascio di radiazioni unidirezionali, ma ci sono anche apparecchi detti

“panoramici” particolarmente utili per la radiografia di saldature circolari di strutture tubolari.

1.3 RAGGI GAMMA

1.3.1 Nozioni storiche.

In realtà non si può parlare propriamente di storia di raggi gamma senza parlare della storia del susseguirsi di scoperte riguardo la radioattività, quest'ultimo fenomeno (la radioattività) è infatti strettamente legato alle emissioni alfa, beta, gamma, di neutroni liberi e di raggi X.

Nel 1896 Antoine Henri Becquerel durante uno studio sulle relazioni intercorrenti tra raggi X e fosforescenza scopre la radioattività naturale dell'uranio. I suoi esperimenti consistevano nell'esporre alla luce solare una sostanza fosforescente disposta su un involucro di carta opaca in cui vi era una lastra fotografica destinata a rilevare la radiazione non luminosa della sostanza. La scelta ricadde sul solfato di uranio che sviluppava una fosforescenza molto viva. Ma ben presto Becquerel osservò un fenomeno tutto nuovo ed inatteso: la lastra si impressionava anche al buio. Dopo numerosi esperimenti egli verificò che le radiazioni non dipendevano dalla caratteristica della fosforescenza ma dal materiale: l'Uranio.

Fu Marie Curie la prima che iniziò a misurare la radiazione dell'Uranio, grazie alla piezoelettricità, scoperta proprio dal marito Pierre Curie. Sempre lei coniò il termine “radioattività” che si riferisce alla capacità di un materiale di poter produrre radiazioni. Grazie alle sue ricerche e ai suoi esperimenti scoprì la radioattività del Torio. Con il marito Pierre, la Curie, scoprì anche un altro materiale radioattivo, 400 volte più radioattivo dell'Uranio. La scoperta avvenne analizzando tonnellate di Pechblenda (forma colloidale dell'uranite) in una miniera polacca. Il materiale radioattivo scoperto, prese il nome di Polonio, esso ha proprietà simili al tellurio. I coniugi Curie continuarono le ricerche e scoprirono anche il Radio, materiale ancora più radioattivo del Polonio.

Dopo le scoperte di Becquerel prima e dei Curie in seguito, altri studiosi si interessarono all'argomento e le ricerche continuarono fino alla definizione di tre forme distinte di radioattività, classificate per modo di decadimento. Esse sono: i raggi alfa, i raggi beta e i raggi gamma. A queste tre forme vanno aggiunti i neutroni liberi derivanti dalla fissione spontanea degli elementi più pesanti.

Fu Villard, un chimico e fisico francese, a scoprire i raggi gamma, mentre, nel 1900, stava studiando le emissioni del Radio.

Per quanto riguarda invece le emissioni alfa e beta erano già state isolate, identificate e denominate da Ernest Rutherford nel 1899.

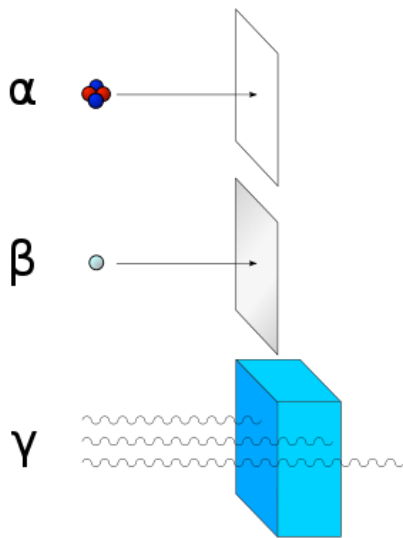
1.3.2 Produzione e nozioni generali sui raggi γ .

I raggi gamma sono una forma di radiazione elettromagnetica prodotta dal decadimento gamma, processo che può essere nucleare o comunque subatomico, consistenti nell'emissione di fotoni ad alta energia (dell'ordine dei KeV).

I raggi γ si distinguono dai raggi X per la loro origine: i raggi γ sono prodotti da transizioni nucleari o comunque subatomiche, mentre l'emissione X è prodotta da transizioni energetiche dovute ad elettroni in rapido spostamento tra i livelli energetici quantizzati dell'atomo.

Per quanto riguarda il confronto di energie possiamo dire che i raggi X più energetici (< 80 KeV) si sovrappongono ai raggi γ più deboli.

Le emissioni gamma sono meno ionizzanti delle radiazioni alfa o beta, ma sono più penetranti. Di conseguenza uno schermo per raggi γ richiede una massa notevole. Per ridurre del 50% l'intensità di un raggio γ occorrono 1cm di piombo, 6 cm di cemento oppure 9 cm di materiale compresso. Questi parametri ci possono far intuire le dimensioni e gli spessori necessari per i bunker atti alle radiografie industriali. A livello biologico, dunque anche per gli umani, i raggi γ producono effetti simili a quelli prodotti dai raggi X: ustioni, forme di cancro e mutazioni genetiche.



I raggi γ sono prodotti spesso assieme ad altri tipi di radiazione come quella alfa e quella beta.

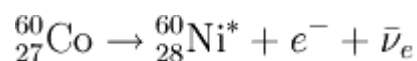
Quando un nucleo emette una particella alfa o beta il nucleo risultante si trova in uno stato eccitato. Esso può passare ad un livello energetico più stabile emettendo un fotone γ .

Raggi γ , raggi X, luce visibile e radiazione UV sono le principali forme di radiazione elettromagnetica; l'unica differenza sta nella frequenza (come è ovvio differiscono perciò anche per lunghezza d'onda) e quindi l'energia dei

fotoni è diversa per ogni tipo di radiazione. Tra tutti i raggi γ sono i più energetici.

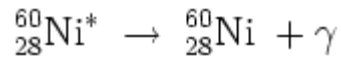
Ecco un esempio di generazione di raggi γ :

Prima un nucleo di Cobalto-60 decade in un Nichel-60 attraverso il decadimento β^-

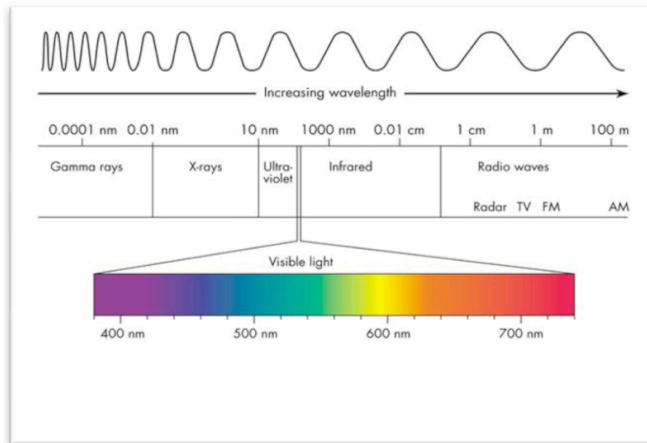


Dove con $\bar{\nu}_e$ si vuole indicare l'antineutrino elettronico, poi il Nichel-60 passa al suo stato di

energia minima emettendo un raggio γ



1.4 IMPRESSIONE DELLA LASTRA.



Nella radiografia industriale tutti i processi di impressione e sviluppo della lastra, sono riconducibili agli stessi fenomeni della fotografia. La principale differenza è la radiazione che impressiona la pellicola (che nel campo dei C.N.D. viene chiamata lastra), infatti per quanto riguarda la fotografia la pellicola viene impressionata dalla luce

visibile, cioè un tipo particolare di onda elettromagnetica caratterizzata da una propria lunghezza d'onda e di conseguenza da una frequenza caratteristica.

Nel controllo radiografico le lastre vengono impresse invece da radiazioni elettromagnetiche ben più energetiche, infatti come sorgente non abbiamo la luce visibile ma raggi γ (provenienti da sorgenti radioattive) oppure da raggi X (prodotti da appositi apparecchi). Questi due tipi di radiazione sono caratterizzati da una lunghezza d'onda di qualche ordine di grandezza minore di quella della luce visibile, cioè da frequenze ben più alte di quelle appartenenti allo spettro visibile.

Indipendentemente dal tipo di radiazione che colpisce la lastra essa si impressiona in base allo stesso processo.

Così come le pellicole fotografiche, anche le lastre per la radiografia industriale sono costruite "a strati". Il supporto di base è un sottile strato di materiale plastico (poliestere o triacetato di celluloido).

Gli strati successivi, attaccati alla base plastica, sono formati da un'emulsione di alogenuro di argento con cristalli di grandezza variabile.

Il materiale "fotosensibile" (termine non appropriato poiché nelle lastre l'impressione non avviene a causa della luce visibile da cui il prefisso foto, ma avviene a causa di radiazione; si dovrebbe parlare di materiale radio-sensibile) è legato con della gelatina all'alogenuro, quest'ultimo è prodotto combinando il nitrato d'argento con sali di alogenuri alchilici (Cloro,

Bromo e Iodio), variando le dimensioni del cristallo.

Nelle lastre radiografiche è presente un solo strato di materiale “radio-sensibile” così come nelle pellicole bianco e nero, al contrario di ciò che accade per le pellicole fotografiche a colori che contengono 3 strati, ognuno sensibile alle diverse frequenze della radiazione visibile legate ai diversi colori primari.

C'è comunque da dire che l'emulsione può essere resa sensibile alle diverse radiazioni, a partire dalla luce visibile, passando per l'infrarosso e l'ultravioletto, per arrivare fino alle frequenze dei raggi X e raggi gamma.

Un'altra analogia con la fotografia è la necessità di applicare alla lastra i processi chimici per creare un'immagine stabile ed insensibile a ulteriori esposizioni alla radiazione; ciò avviene attraverso i processi di sviluppo e fissaggio, gli stessi applicati nella fotografia.

Il parametro più importante per una lastra radiografica è la grana, connessa alla sensibilità e alla “rapidità” della lastra stessa. La grana della lastra si manifesta sotto forma di granuli di microscopiche particelle di argento nell'emulsione “radio-sensibile” della lastra. Come si diceva prima, al variare della granulometria varia anche la “rapidità” della lastra. Di solito si usano lastre a grana fine per ottenere immagini di qualità superiore rispetto a quelle che si otterrebbero da lastre a grana più grossa. La scelta della pellicola però, come vedremo in seguito, è rigidamente dettata dalle normative applicate per lo specifico controllo.

2. APPARECCHIATURE.

Nella mia collaborazione all'interno dell'azienda ho potuto utilizzare principalmente due apparecchi differenti poiché due sono le fonti grazie alle quali vengono eseguite le radiografie. L'apparecchio utilizzato per le gammagrafie è il “GAMMAMAT TSI 3/1”, prodotto appunto dalla Gammamat, mentre per quanto riguarda l'apparecchiatura per le radiografie con raggi X ho potuto utilizzare un apparecchio per la produzione di raggi X della GE Inspection Technologies

2.1 APPARECCHIO A RAGGI GAMMA

2.1.1 Scheda tecnica Gammamat TSI

Standard costruttivi:

DIN 45115 parte 4 e ISO 3999:2000, classe P, categoria 2.

Isotopo:

Ir-192 in stato speciale con tempo di dimezzamento di: 73.8 giorni.

Attività:

3.00 TBq (80 Ci)

Radioattività alla superficie:

Max. 2 mSv/h

Range di temperatura di applicazione:

-40° C fino a +50° C

Peso di Uranio depleto:

10.9 kg (24 lb)

Dimensioni:

Lunghezza: 350 mm Larghezza: 132 mm Altezza: 222 mm

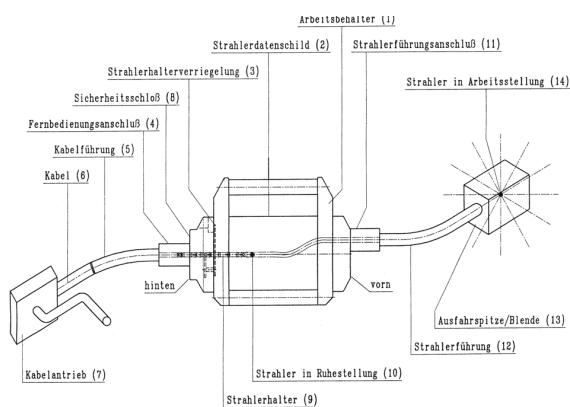
Materiali involucro:

Involucro esterno: Acciaio CrNi, Case interno: Alluminio.

Schermatura:

Uranio depleto Max. 0.4% U-235 (Attività specifica < 18.50 Mgq/kg)

2.1.2 Gammamat TSI 3/1



L'apparecchio che si utilizza per la maggior parte in questa azienda è uno degli ultimi ritrovati per quanto riguarda la sicurezza. Il nome dell'apparecchio è "GAMMAMAT TSI". In primo luogo è da notare il materiale con cui è

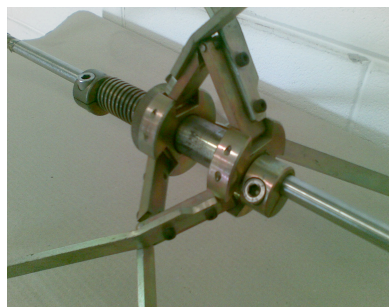
fatto l'involucro contenente la sorgente di iridio 192 (che è in capsula la cui misura è 2X1,98 (diam X h) mm), esso è fatto di uranio depleto, che ha ottime proprietà schermanti, assieme ad altri materiali per coprire al meglio possibile le radiazioni uscenti come acciaio CrNi, tungsteno.

Inoltre, come si può vedere dallo schema qui sopra l'entrata e l'uscita dall' apparecchio non sono allineate, bensì c'è quello che si chiama “Labirinto”. Il concetto è abbastanza semplice: si parte dal presupposto che le onde viaggiano con un moto rettilineo, non fanno curve, ecco che in questo apparecchio si sfrutta ciò. Quando non è in utilizzo la sorgente dentro l'apparecchio è in un avvallamento cosicchè la radiazione non riesca ad uscire poiché viaggia in linea retta.

L'apparecchio è formato principalmente da tre parti: l'involucro contenente la sorgente radioattiva, un meccanismo che fa fuoriuscire la sorgente dall'involucro protettivo ed infine una guaina con un puntale che andrà posizionato nella posizione idonea per fare la lastra.

L'involucro è già stato descritto, per quanto riguarda il meccanismo per l'uscita della sorgente si può dire che è un dispositivo piuttosto semplice, consiste in una maniglia che spinge una specie di sonda rigida che si aggancia direttamente al carrello contenente la sorgente, ovviamente girando nei due sensi possibili si fa uscire o si fa rientrare.

L'ultima parte che completa l'apparecchio a raggi gamma di iridio è la guaina. Questa è la parte più delicata poiché è una specie di tubo flessibile nel quale scorre la sonda, la sua debolezza sta proprio nella flessibilità, fattore importante per poter posizionare al meglio



possibile la sorgente, ma se si piega troppo la guaina potrebbe strozzarsi e la sorgente restare incastrata. Per fare le lastre nelle

saldature circolari delle tubazioni, soprattutto se molto lunghe, si utilizza un centratore che non è altro che un meccanismo con dei sostegni spinti da molle che mantiene il puntale al centro della tubazione.

2.2 APPARECCHIO A RAGGI X

2.2.1 SCHEDA TECNICA ERESKO 65 MF3

Modello tubo raggi X:

300 kV metal-ceramico con anodo di Tungsteno (W).

kV range:

5-300 kV

Angolo di uscita:

20°

Filtro:

0.8 mm \pm 0.1 mm, Be

Raggio in uscita:

40° x 60°, ellittico

Corrente nel tubo:

0.5 - 6 mA

Temperatura massima anodo:

100°

Peso:

40 kg

Classe di protezione:

IP65

Range temperatura operativa:

da -20°C a +50°C

2.2.2 ERESKO 65 MF3

La differenza principale con i raggi gamma è la maggiore sicurezza nel trasporto e nell'esercizio. Se per la sorgente di Iridio la grandezza caratteristica è la quantità di Curie per i raggi X le regolazioni vanno fatte su kV di tensione e i mA di





corrente. La tensione tra i due è il parametro più importante, infatti regola la lunghezza d'onda pertanto variando la tensione si regola la durezza della radiazione, ovvero il potere di penetrazione dell'onda, mentre con la corrente si gestisce l'intensità della radiazione. In questo senso si può dire che questi strumenti possono emettere una radiazione policromatica e quindi gestire diversi spessori a differenza dei raggi gamma con i quali si possono gestire solo i tempi di esposizione visto che la "potenza" (misurata in Curie) resta costante in accordo con i tempi di dimezzamento che dipendono dalla natura del metallo radioattivo.

Un'altra parte molto importante del generatore di raggi X è il controllo remoto. Nell'apparecchio a raggi gamma il controllo dell'uscita della sorgente radioattiva era esercitato da una manovella che spingeva fuori, lungo una guaina, la sorgente, fino al puntale, posto dall'operatore nella posizione ottimale per l'esposizione della lastra. Nel caso invece dell'apparecchio a raggi X il controllo ora è tutto elettronico; l'immagine più a destra mostra la console di controllo, da cui si possono controllare tutti i parametri come tensione (kV), intensità di corrente (mA) e tempo di esposizione (s).

Nella scheda tecnica c'è una voce per la quale vale la pena dare una spiegazione: "filtro".

Con la voce filtro si vuole sottolineare il fatto che nell'apparecchio l'anodo di Tungsteno è alla stessa altezza della finestra di uscita dei raggi X. Questa finestra è in Berillio (Be).

Questa accortezza serve per evitare che radiazioni troppo deboli escano e arrivino al campione da controllare, infatti questi raggi (raggi X molli) se uscissero dall'apparecchio, e di conseguenza impressionassero la lastra, avrebbero come unico risultato quello di peggiorare la qualità dell'immagine. Ecco che la lastra di berillio posta sulla finestra di uscita dell'apparecchio serve proprio ad assorbire queste radiazioni troppo deboli per essere utili ai fini di ottenere una buona qualità di immagine.

2.3 LASTRE

Innanzitutto le lastre si differenziano per le loro differenti misure. La scelta di differenti formati si fa in base alle diverse esigenze nella radiografia, principalmente in base alle dimensioni del pezzo da controllare, l'operatore decide il formato in base al tratto che deve controllare. Parlando di "tratto" si intende la parte di pezzo da coprire con una sola lastra: se per quanto riguarda tubazioni in base allo spessore vengono già date le misure delle lastre, al contrario per le fusioni la scelta delle dimensioni della pellicola è dettata dall'esperienza

dell'operatore che fa la sua scelta in base allo spessore, alla distanza tra il fuoco e il film e altri parametri che si possono padroneggiare solo con l'esperienza.

In questa azienda si usano le pellicole AGFA Structurix.

Come avviene nella fotografia con i “rullini” anche in questo campo la pellicola deve essere protetta con molta cura dalla luce. Per fare ciò si utilizzano delle buste nere ideate in modo tale da non lasciare entrare neanche uno spiraglio di luce. Dentro tali involucri ci sono due lastre di piombo che possono essere di diversi spessori. Il motivo della presenza delle lastre di piombo da entrambi i lati delle pellicole è principalmente di filtro: grazie ai piombi la lastra viene impressionata solo dalla radiazione utile, infatti tutte le altre radiazioni (riflessioni, radiazioni retrodiffuse, etc...) vengono assorbite dal piombo che altrimenti, se arrivassero alla lastra, la renderebbero meno nitida. Per le potenze degli apparecchi utilizzati i piombi nelle lastre hanno uno spessore che va da 0,05 a 0,10 mm, mentre in altri cantieri, dove la ditta utilizza un acceleratore lineare, vengono usati dei piombi con uno spessore di 1 mm.

Le pellicole utilizzate vengono divise in base anche alla grana, alla densità. Più fina è la grana, o maggiore la densità migliore è la qualità della lastra. Le Agfa Structurix vanno dalla D2 alla D8 ma queste lastre “estreme” non vengono mai utilizzate. In generale, nelle applicazioni si utilizzano principalmente o le D7 o le D4. La grana della pellicola influenza il tempo di esposizione della lastra, infatti una pellicola a grana grossa come la pellicola D8 ci mette poco ad impressionarsi, mentre una pellicola D2 (con la grana più fine) ci mette di più, ma la qualità d'immagine con quest'ultima è superiore. Per tenere conto delle differenti pellicole direttamente la Agfa fornisce una tabella con i “fattori pellicola”, questi sono dei valori numerici che inseriti nel “regolo” (strumento che descriverò a seguire) assieme ad altri valori caratterizzanti la gammagrafia mi danno il tempo di esposizione. I valori che propone la Agfa sono: D2=160; D3=140; D4=110; D5=70; D7=40; D8=28.

2.4 SVILUPPATRICE

Un altro strumento molto importante per questo lavoro è la sviluppatrice. Fino a non molti anni fa, lo sviluppo delle lastre veniva fatto manualmente, si passava la pellicola prima per la fase dello sviluppo e poi per la fase di fissaggio. Ora con la macchina sviluppatrice è tutto più semplice, l'operatore deve solo impostare la temperatura (che deve essere di 28° C) e il tempo di ciclo che è di 8 minuti. La pellicola viene tolta dalla busta protettiva, viene inserita nella parte della macchina all'interno la camera oscura, questa parte non è altro che uno “scivolo” in cui l'operatore appoggia le lastre, facendo attenzione che non si sormontino. Il numero di lastre che si possono sviluppare insieme dipende ovviamente dalle

dimensioni delle lastre da sviluppare. Una volta appoggiate dei rulli controrotanti agganciano la lastre e la trasportano attraverso le vasche prima dello sviluppo e poi dentro a quelle del fissaggio. Lo sviluppatore trasforma in argento metallico i cristalli di alogenuro d'argento impressionati. Ogni sviluppatore ha caratteristiche proprie. Il risultato è determinato dalla natura dello sviluppatore, ma dipende anche dalla natura e dalla qualità degli altri componenti del rivelatore. Si utilizza generalmente una combinazione di sviluppatori: metol-idrochinone, fenidone-idrochinone. I prodotti chimici più diffusi sono: Metol, Idrochinone, Fenidone, Glicina, Pirocatechina, Amidolo, Parafenilendiamina. Una volta finito il ciclo (della durata di otto minuti) le lastre escono pronte per la lettura e l'osservazione, escono già asciutte grazie a delle resistenze poste all'uscita delle vasche.

2.5 SICUREZZA

Questo capitolo riguarda le apparecchiature, ma la sicurezza è un argomento che non può prescindere da esse.

Quando si parla di sicurezza si intendono tutti quegli accorgimenti che provengono dal mondo della tecnica, senza i quali questo lavoro sarebbe molto più rischioso.

Per quello che riguarda l'esperienza in una ditta di controlli non distruttivi la cosa più importante sul fronte sicurezza è il cosiddetto "bunker". Esso è costruito in cemento, ha muri molto spessi e soprattutto l'uscita utilizzata dal personale è particolare. Le parti più difficili da isolare dalle radiazioni sono le entrate. Quella per il personale è costruita tipo labirinto: le radiazioni "viaggiano" in linea retta ecco perché per poter giungere alla porta di uscita del bunker si deve passare per forza per un corridoio non parallelo all'uscita. In questo modo le radiazioni non hanno nessun possibile percorso in linea retta per uscire dal bunker. Un'altra parte molto delicata in termini di sicurezza del bunker è il portone dal quale entrano i mezzi per depositare i pezzi più pesanti ed ingombranti. Esso è totalmente costituito di piombo, spesso 50 cm è comandato elettronicamente e non permette l'uscita di nessuna radiazione. Inoltre questa stanza è dotata di un rilevatore di radiazioni molto sensibile, esso è collegato ad una luce all'esterno che segnala la presenza o meno di fonti radioattive al loro interno.

Un altro accorgimento per la sicurezza degli operatori è legato alla presenza di una piastrina. Ogni operatore ne ha una e durante le ore di lavoro la deve avere sempre con sé. Questa targhetta rileva e tiene in memoria la quantità di radiazioni che vengono assorbite dall'operatore durante lo svolgimento del proprio lavoro. Periodicamente queste piastrine vengono inviate ad un ente competente e se l'operatore ha assorbito una quantità di radiazioni

più alta di quella consentita per legge gli viene imposto un periodo di stop da lavoro.

Quando si fanno interventi in cantieri diversi dalla sede dell'azienda può capitare di dover lavorare in un bunker privo di segnalatori di radiazioni. Per questi casi si utilizza un "Contatore Geiger" proprio in onore dell'inventore: Hans Wilhelm Geiger. Questo apparecchio emette un segnale acustico e luminoso ogni qualvolta rileva la presenza di radiazioni ionizzanti.

Ma la sicurezza in questo campo di controlli industriali è a priori, è presente già negli apparecchi utilizzati. Analizzando ad esempio l'apparecchio a raggi gamma delle Gammamat, si può notare che questo apparecchio è caratterizzato dalla presenza di una camera di contenimento della sorgente di forma particolare. L'entrata e l'uscita dell'apparecchio non sono alla stessa altezza, inoltre quando l'apparecchio è inattivo, non è in uso la sorgente di Iridio-192 è in una specie di rientranza che la sposta rispetto alle linee di entrata ed uscita dall'involucro di Uranio depleto.

3. SCELTE TECNICHE

Nel seguente capitolo avranno spazio spiegazioni e delucidazioni su lati strettamente applicativi della radiografia industriale.

3.1 UTILIZZO DELL'IRIDIO-192

Nel corso dei miei studi avevo imparato che per le gammagrafie sono disponibili diversi fonti di radiazione, ma nell'esperienza del mio tirocinio ho potuto utilizzare solo l'apparecchio con Ir-192. La questione è: perché per applicazioni diverse non si possono utilizzare fonti radioattive diverse?

La risposta a tale quesito è piuttosto articolata. Bisogna innanzitutto partire dalla lista delle altre sorgente utilizzabili nella gammagrafia. Il primo è Cesio, ma questo è stato lasciato poiché difficilmente trattabile e troppo pericoloso.

Il secondo, tuttora utilizzato, è il cobalto-60 (Co-60). Esso è un isotopo radioattivo artificiale del Cobalto, viene prodotto artificialmente per attivazione neutronica del Co-59. Il Cobalto-60 decade per decadimento beta nell'isotopo stabile Nichel-60. Il nucleo di Nichel attivato emette due raggi gamma con energie di 1,17 e 1,33 MeV; in realtà questi valori di energia hanno potere di penetrazione molto maggiore di quello dell'IRIDIO-192 che, durante il suo decadimento, emette radiazioni gamma con un'energia tra 0,2 e 0,6 MeV.

I problemi legati all'utilizzo del Cobalto sono molteplici, almeno per quello che riguarda le necessità dell'azienda. Il primo dei problemi è la movimentazione dell'apparecchio e del suo trasporto. Basti pensare che per l'iridio che ha una energia di radiazione di un ordine di

grandezza minore si ha un involucro che in totale pesa poco più di 20 kg, per il cobalto si tratta di trasportare e movimentare nel cantiere un apparecchio molto più pesante ed ingombrante. Un ulteriore problema deriva dal fatto che molto spesso si deve operare in zone aperte non potendo spostare alcuni pezzi da controllare nel bunker. Se si usasse il Co-60 in questi casi, al di fuori di un bunker, l'area da far evacuare sarebbe molto maggiore rispetto al caso in cui l'intervento l'avessi fatto con l'apparecchio ad Ir-192.

L'utilizzo del Co-60 come sorgente radioattiva risulterebbe problematica anche per il suo utilizzo in bunker, poiché la sua potenza è decisamente elevata e anche il bunker dovrebbe essere costruito seguendo degli standard costruttivi molto più alti e rigidi. Questo comporta comunque problematiche a livello economico (un bunker più performante costa di più) che a livello di permessi di utilizzo di materiale radioattivo con queste energie.

L'ultimo motivo per il quale l'azienda "Antonio Bovo CND" non utilizza il Cobalto per i suoi interventi riguarda la definizione d'immagine. Nelle lastre ottenute grazie al Cobalto non riesco a vedere bene i difetti di piccole dimensioni, soprattutto nei casi di piccoli spessori. Nel gergo si dice che la radiazione ha "bruciato" il difetto. Alla base del metodo radiografico c'è il diverso attenuamento della radiazione in dipendenza della densità del volume attraversato. Nel caso del Co-60 l'energia è così forte che il difetto piccolo crea una attenuazione della radiazione praticamente nulla o comunque non rilevabile nella lastra. Quindi in base anche ai controlli e alle dimensioni dei pezzi da controllare più spesso l'azienda ha deciso di non utilizzare il Cobalto come sorgente per i propri cantieri.

Un non metallo radioattivo, possibile sorgente per i controlli RT è il selenio 75. In questo caso le problematiche sono sul fronte opposto. Se con il Cobalto i problemi erano legati alla "troppa" energia delle radiazioni, nel caso del Selenio 75 il problema è la poca energia e di conseguenza lo scarso potere di penetrazione.

Infatti se si dovessero controllare spessori come quelli normalmente controllati con il Gammamat TSI 3/1 all'Ir-192 non riuscirei quasi neanche a impressionare la lastra poiché avendo poco potere di penetrazione la radiazione non riuscirebbe ad uscire, ma sarebbe attenuata del tutto dal volume da controllare.

D'altro canto però ho un paio di lati positivi. Il primo è la definizione d'immagine. La qualità delle immagini ottenute utilizzando il Selenio è paragonabile a quella delle immagini a raggi X. Questa motivazione ha portato ad un incremento del mercato di sorgenti di Selenio-75 negli ultimi anni proprio perché sugli spessori comunemente più sottili stanno prendendo piede al posto dei generatori di raggi X

Il secondo valore aggiunto del Selenio è legato sempre alla somiglianza con i raggi X in alcuni casi. Molto spesso capita di dover controllare pezzi particolari in opera, cioè già

posizionati e può risultare scomodo andare a fare il controllo con il generatore di raggi X, ecco che risulterebbe molto utile per l'operatore avere l'apparecchio al Selenio-75, molto più pratico dell'apparecchio a raggi X.

3.2 SCELTA DELLA PELLICOLA

Nella mia esperienza ho lavorato solo con pellicole "AGFA Structurix". Sono prodotte appunto dalla Agfa, ma il mercato in questo settore è diviso tra l'appena citata azienda e la Kodak. La scelta è stata fatta in base al rapporto qualità/prezzo in primis e poi anche per la qualità degli accessori che venivano forniti, come la sviluppatrice automatica e le buste protettive, comprensive ovviamente anche delle lastre di piombo.

Per quanto riguarda il tipo di pellicola invece la scelta è un po' più complessa.

Partiamo dalle dimensioni delle lastre. Questa solitamente non viene data come imposizione dalla normativa, ma viene scelta la dimensione della lastra in base al tratto di saldatura da controllare, oppure dalla superficie fusa da radiografare. Cioè se ho una lastra di 10 metri quadri da controllare al 100% è inutile utilizzare pellicole 10X16, conviene usare pellicole 30X40. Prima di proseguire mi soffermo in questo particolare: in questo tipo di controllo la tariffa viene applicata "a lastra", ecco che la scelta della dimensione della lastra ha un risvolto economico, aspetto mai da sottovalutare.

Per quanto riguarda la scelta della grana, ovvero decidere di utilizzare una D7 piuttosto di una D4, si deve fare un discorso un po' diverso. Molto spesso la normativa ci viene in soccorso, imponendoci la grana della lastra, soprattutto in base all'applicazione finale del pezzo controllato.

Infatti la grana della lastra incide molto nella qualità d'immagine, perciò incide molto sulla dimensione del più piccolo difetto visibile; ecco perché in quasi tutti i casi la grana della lastra è decisa dalla normativa.

3.3 DOPPIO O SINGOLO FILM

Lo standard consiste nell'esposizione di una sola lastra per volta, ma molte volte, soprattutto per pezzi che avranno applicazioni nucleari, la normativa impone l'utilizzo di due film. I motivi sono molteplici. Il primo è quello meno tecnico, ma non per questo meno importante: grazie all'utilizzo della doppia pellicola posso diminuire i tempi di esposizione per ogni radiografia rispetto all'esposizione standard in singolo film. In modo semplicistico succede che ogni lastra riceve metà delle informazioni e sommando le due lastre si ottiene l'immagine completa, come se fosse stata fatta con un singolo film e con il doppio del tempo di esposizione. Infatti, quando, all'inizio del tirocinio, facevo il primo controllo delle lastre

all'uscita dalla sviluppatrice pensavo fossero lastre sbagliate, un errore nel calcolo del tempo di esposizione, ma in realtà non è così; poiché ogni qualvolta si fa una radiografia in doppio film si è obbligati a fare la lettura della lastra con entrambi i film sovrapposti. Da ricordare che per leggere le lastre si ha a disposizione un “flash” a luce alogena con il quale la visione è ottimale. Un altro strumento essenziale per l'operatore di RT è il densitometro. Esso è un apparecchio grazie al quale si misura la densità della radiografia. Il concetto base di questo strumento è la misura di quanta luce passa la lastra: se ne passa molta (lastra chiara) non si ha abbastanza contrasto per vedere i difetti, se invece il densitometro dà un valore numerico troppo alto (i parametri sono dati nelle normative applicate per quel particolare tipo di lastra) vuol dire che la densità della lastra è molto alta, cioè passa poca luce e la lastra risulta troppo scura per poter distinguere, ad esempio, i confini di una saldatura rispetto alla matrice del pezzo, oppure zone di materiale ritirato nelle fusioni.

Il secondo motivo è un motivo riguardante l' affidabilità della radiografia. Può capitare che una lastra, un film, abbiano un difetto, un graffio sulla pellicola. Con la radiografia in doppio film si esclude quasi del tutto la possibilità di “confondere” un difetto della lastra con un difetto realmente presente sul pezzo controllato. Per quella che è stata la mia esperienza ho notato che è un metodo molto efficace contro i “falsi difetti” e molte volte ha evitato lo scarto di una saldatura o di un pezzo intero. Prima si è specificato che: “esclude quasi del tutto...” questo perchè l'unica possibilità di non accorgersi del difetto film è che lo stesso difetto (dimensioni, forma, posizione) sia presente in tutte e due le lastre, possibilità piuttosto remota che difficilmente può verificarsi.

Il terzo ed ultimo motivo riguarda la possibilità di controllare due spessori diversi in una sola esposizione. Mettiamoci nel caso in cui il pezzo da controllare ha una flangia più spessa del resto. Il controllo deve essere fatto sia sulla flangia, che sul raccordo ed anche sulla parte del pezzo adiacente per evidenziare possibili difetti della matrice dovuti allo shock termico, o allo stress meccanico subito dal pezzo a seguito delle lavorazioni per la flangia. Se non ci fosse la possibilità di utilizzare il doppio film dovrei fare due lastre differenti, poiché se facessi una sola esposizione in singolo film la lastra risulterebbe troppo scura nella parte più spessa o troppo chiara nella parte più sottile. Con il doppio film non accade poiché lo spessore più elevato lo posso controllare prendendo una sola lastra dell'esposizione in doppio film. Per controllare invece la flangia, o comunque lo spessore più sottile basta che sovrapponga le due lastre per ottenere una densità adeguata per la visione dei difetti.

C'è comunque da precisare che nessuno vieta agli operatori di usare un triplo, o addirittura un quadruplo film, l'importante è che la densità stia nel range imposto dalla normativa.

3.4 I TEMPI DI ESPOSIZIONE

Da questo parametro dipende fortemente la qualità (espressa dalla densità della lastra) del controllo radiografico finale. Se ci si pensa non ci sono molte variabili per questo tipo di controllo: l'energia della radiazione la conosciamo, anche perchè assieme all'apparecchio vengono date delle tabelle con le energie che ha ogni sorgente di Ir-192 giorno per giorno quindi non è una variabile. Un altro parametro è il fattore pellicola: ovviamente una lastra veloce (grana grossa) ci mette meno ad impressionarsi rispetto ad una pellicola lenta con grana fine o extra fine, di ciò bisogna tener conto quando si fa una radiografia e per farlo sono messi a disposizione dalla ditta produttrice di pellicole (Agfa in questo caso) una serie di fattori numerici per ogni tipo di lastra, cioè, ad esempio, la D2 avrà un valore di fattore pellicola, che sarà diverso dal fattore pellicola di una D7. Come ultimo fattore (tempo di esposizione escluso) resta la distanza fuoco-film. Questo parametro può dipendere a sua volta da due fattori: il primo sono motivi tecnici, cioè anche la distanza tra il fuoco della sorgente di radiazioni e la lastra è imposto dalla normativa o dal committente del controllo; il secondo fattore è di natura geometrica. Quest'ultimo motivo è cioè dipendente dalla geometria del pezzo, sta all'operatore, in base alla sua esperienza, capire dove, e a che distanza, mettere il fuoco rispetto alla pellicola. Il personale che fa la radiografia deve essere in grado anche di poter controllare tutto il pezzo nel minor tempo possibile e utilizzando meno lastre possibili. Resta ora da mettere assieme tutti questi parametri per trovare la soluzione al “problema”, ovvero il calcolo del tempo di esposizione.



A disposizione degli addetti ai lavori c'è il cosiddetto “regolo”, non è un termine tecnico, ma fa parte del lessico utilizzato nell'ambiente. Non è altro che una piastra con delle listelle numerate mobili, ogni listella contiene uno dei parametri sopra citati, inoltre come dato di uscita dà i secondi per ottenere una lastra con una densità compresa nel range ammesso dalla normativa (ASME o UNI-EN). Si parte dal basso, con il fattore pellicola, si allinea con la distanza fuoco film, il tutto viene allineato con l'attività misurata in Curie della sorgente all'interno dell'apparecchio in uso e al di sopra di tutto otteniamo il risultato cercato.

In realtà per iniziare la regolazione con il regolo si deve partire proprio dalla densità, il fattore più in basso di tutti. Densità che è la stessa che noi desideriamo avere nella lastra sviluppata.

3.5 IQI

In ogni lastra vengono messi quelli che vengono detti gli “Indicatori Qualità dell'Immagine”.

Essi possono essere in due forme diverse: sottoforma di fili di piombo di diametro decrescente

range di spessori nominali per parete singola		Indicatori della Qualità dell'Immagine			
		lato sorgente		lato pellicola	
pollici	millimetri	designazione IQI a fori	designazione IQI a fili	designazione IQI a fori	designazione IQI a fili
da 0,5 a 0,75	da 12,7 a 19,0	20	8	17	7
da 0,75 a 1,0	da 19,0 a 25,4	25	9	20	8
da 1,0 a 1,5	da 25,4 a 38,1	30	10	25	9
da 1,5 a 2,0	da 38,1 a 50,8	35	11	30	10
da 2,0 a 2,5	da 50,8 a 63,5	40	12	35	11
da 2,5 a 4,0	da 63,5 a 101,6	50	13	40	12
da 4,0 a 6,0	da 101,6 a 152,4	60	14	50	13
da 6,0 a 8,0	da 152,4 a 203,2	80	16	60	14
da 8,0 a 10,0	da 203,2 a 254,0	100	17	80	16

(solitamente il filo più piccolo è circa il 2% dello spessore da radiografare), altrimenti possono essere sottoforma di piastrine, sempre in piombo, con dei fori, anche in questo caso con diametri diversi e

decescenti.

Essi in primo luogo servono per definire il più piccolo difetto visibile in quella specifica lastra, ed in secondo luogo la loro funzione ha delle somiglianze con la funzione della “messa a fuoco” nella fotografia. Ogni normativa applicata impone che si vedano un certo



numero di fili (o fori), in tutto sono 5 e solitamente la normativa dice che se ne devono vedere chiaramente almeno 3. Se non se ne vedono il numero minimo richiesto la lastra è da scartare e da rifare. Le cause della non perfetta visione degli IQI possono essere molteplici, a partire da un calcolo sbagliato del tempo di esposizione, oppure per uno spessore non regolare nel tratto radiografato, fino ad arrivare ad una dimenticanza. In effetti può capitare che una volta fissata la lastra al pezzo ci si dimentichi di non aver messo il “Penetrametro” (altro termine per indicare l' IQI). Se una lastra viene eseguita senza il penetrametro è da considerarsi fuori norma, infatti non si può verificare la qualità dell'immagine ottenuta.

I differenti tipi di IQI sono scelti in base alle specifiche della normativa, a sua volta la essa è descritta in base alle applicazioni finali del pezzo controllato (utilizzo in pressione, applicazioni per il nucleare, trasporto gas,...), alle dimensioni in gioco (lo spessore è la grandezza più importante) e al materiale con il quale è fatto il pezzo.

3.6 NORMATIVE VIGENTI

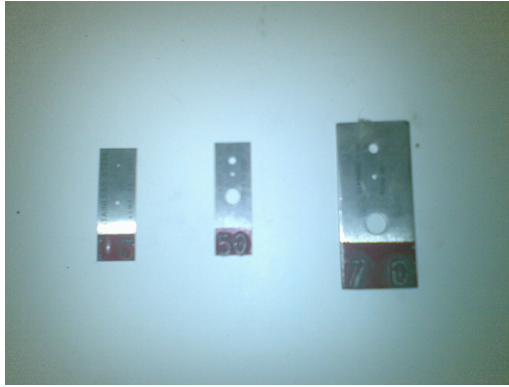
Per completare la panoramica sulle radiografie non resta che parlare delle normative vigenti.

Quando un cliente porta a controllare i propri prodotti è sempre lui che chiede alla ditta di CNL che normativa vuole applicata. Due sono le normative “guida”: le ASME (americane) o le EN (europee). Inoltre se è abilitato (altre normative) il cliente può richiedere una specifica particolare, una procedura che decide lui. Le norme sono molte ma le più importanti per un tecnico radiologo sono quelle che riguardano i limiti di densità accettati e quelle riguardanti i

penetrametri (IQI) da utilizzare.

Bisogna fare una netta distinzione tra le norme ASME e quelle EN, sia per quanto riguarda le densità che i penetrametri.

Partendo dalle americane si può dire che il range di densità accettato è più ampio, quindi sono meno restrittive. In effetti in singolo film le ASME accettano una densità minima di 1,8 per i raggi X e di 2 per i raggi gamma. Il massimo è fissato a 4, valore oltre il quale la lastra è



ritenuta troppo scura per essere accettata. Il limite superiore è uguale nel caso della lettura di lastre in doppio film, ma la densità minima è di 2,6.

Passando invece alle normative europee si nota subito che non vengono fatte distinzioni tra raggi x e raggi gamma. In singolo film la densità minima è 2,4 mentre per il doppio film si passa ad un minimo di 2,6.

Tra ASME ed EN sono diversi anche i penetrametri. In quelli accettati dalle normative americane ci sono 6 fili e sono decrescenti da destra verso sinistra, mentre per le EN i penetrametri sono formati da 7 fili e con diametri decrescenti da sinistra a destra. C'è inoltre da specificare che i penetrametri forati descritti in precedenza sono stati aboliti dalle EN, ma sono ancora utilizzabili se il cliente richiede i protocolli e le norme ASME.

4. APPLICAZIONI PRATICHE

In questa sezione saranno presentate alcune tra le più interessanti applicazioni della radiografia industriale solitamente svolte all'interno dell'azienda. Si tratta di applicazioni molto diverse tra loro: saldature circonferenziali di tubi per metanodotti, fusioni di acciaio (corpi pompa per l'acqua delle centrali nucleari) ed infine provini di saldature.

4.1 TUBAZIONI METANODOTTI.

In questa applicazione il controllo era prevalentemente su saldature circonferenziali, spesso anche con diametri di più di 2000 mm. Vista la grande quantità di pezzi e la loro notevole dimensione non potevano essere spostate dalla fabbrica dove erano state assemblate le tubazioni. Essendo in cantiere, non in un bunker isolato, ma "in campo" come prima cosa, è necessario transennare la zona dell'operazione definita caso per caso dall'operatore qualificato.

Una volta messo in sicurezza il sito si inizia la fase di preparazione del pezzo. Questa fase

consiste in operazioni atte a rendere la lastra correlabile con il particolare esaminato. La prima cosa, necessaria per rendere riconducibile ogni lastra al particolare settore radiografato di ogni singolo pezzo, è la numerazione. Molto spesso gli interventi non vengono fatti per un solo pezzo, soprattutto se il sito non è vicino alla sede dell'azienda di CND. Ecco il motivo della numerazione di ogni pezzo: se, ad esempio, in una lastra si trova un difetto l'operatore deve poter informare l'azienda produttrice del pezzo riguardo la posizione nella quale intervenire per la riparazione. Oltre alla numerazione, il radiologo prima di cominciare a radiografare deve suddividere la parte della tubazione da controllare (in genere saldature) in un certo numero di settori. La grandezza dei settori dipende innanzitutto dalle dimensioni del pezzo e dalle dimensioni delle lastre utilizzate. Una volta fatte queste operazioni il pezzo non è ancora pronto per essere controllato. Infatti per ora è tracciato solo il pezzo, ma nelle lastre sviluppate non si possono vedere le scritte che sono state fatte dall'operatore sul pezzo. Perché ogni lastra sia riconducibile proprio a quel particolare radiografato si deve fare in modo che ogni scritta sia visibile anche sulla lastra dopo lo sviluppo. Per fare ciò tra l'attrezzatura dell'operatore RT non possono mancare lettere e numeri di piombo, anch'essi ovviamente di differenti misure. I numeri o le lettere di piombo vengono fissati (attraverso nastro adesivo o calamite) in corrispondenza della suddivisione dei tratti proprio sul pezzo stesso. Restano infine da posizionare i penetrametri, questi invece non sono a discrezione più o meno libera dell'operatore come invece erano la scelta delle lastre e la suddivisione in settori. Il codice del penetrametro da usare è imposto dalla normativa, ma la dipendenza maggiore nella scelta dell' IQI è nello spessore. A questo punto si può posizionare l'occorrente per l' apparecchio radioattivo. A conclusione di questa prima fase si può dire che sopra alla tubazione sono stati posizionati diversi accorgimenti, a strati. Sul pezzo quindi ci sono segnati i tratti radiografici, fissati in corrispondenza ci sono i numeri di piombo, immediatamente sopra ci sono gli IQI ed infine viene fissata la lastra, ovviamente all'interno della busta protettiva.

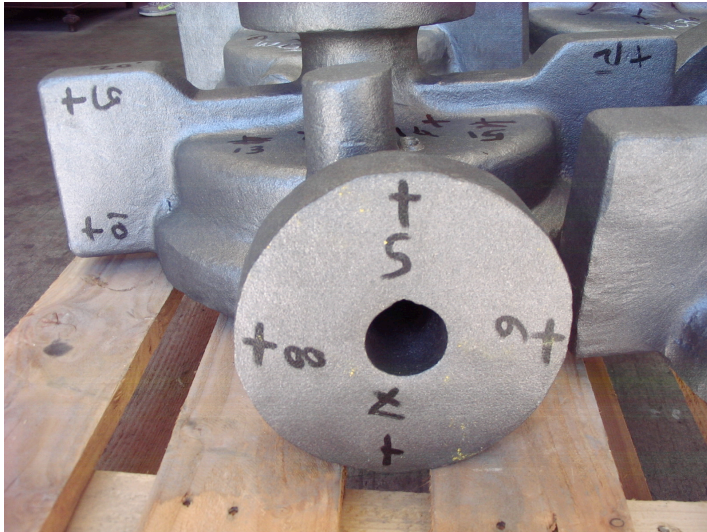
In questo caso è molto più conveniente utilizzare l'apparecchio a gamma poiché l'apparecchio a raggi X a disposizione dell'azienda è direzionale e non panoramico, mentre i raggi gamma si diramano dalla punta del centratore a 360°, quindi se si posiziona il puntale al centro della tubazione in corrispondenza della saldatura con una sola esposizione si possono impressionare più lastre contemporaneamente.

Una volta posizionato il centratore (il "ragno" descritto in precedenza) si può far uscire la sorgente dalla capsula, cioè spingerla con l'eiettore a manovella lungo la proboscide che termina nel puntale. Una volta conclusa la prima esposizione si può passare alla seconda, nella quale le lastre vengono posizionate in modo sfalsato rispetto le prime, così da coprire l'intera circonferenza. Da ricordare inoltre che perché una lastra possa essere accettata dalla

normativa deve contenere l'inizio e la fine del tratto radiografato.

4.2 FUSIONI IN ACCIAIO

In questo caso invece i settori da controllare non sono più stretti cordoni di saldatura, ma è il 100% di zone critiche della fusione, come ad esempio la flangia in primo piano oppure i piedi di supporto esterni visibili in figura.



Questi pezzi non sono molto grandi e possono essere trasportati all'interno del bunker radiografico per operare in tutta tranquillità. In questo controllo quindi non è necessaria tutta la fase di recinzione della zona, ma sono ugualmente importanti le altre fasi di preparazione del pezzo.

In questo caso sono molto utilizzate le esposizioni in doppio film, soprattutto nelle zone nelle quali le flange si attaccano al corpo pompa. Questo si fa perché proprio in quella zona c'è un cambio di spessore piuttosto elevato ed inoltre è una zona con alto stress meccanico visto che in quei siti si agganciano le tubazioni. Per tutta questa serie di motivi l'esposizione in doppio film è quasi d'obbligo così in metà del tempo e con un'esposizione sola si possono vedere adeguatamente i diversi spessori.

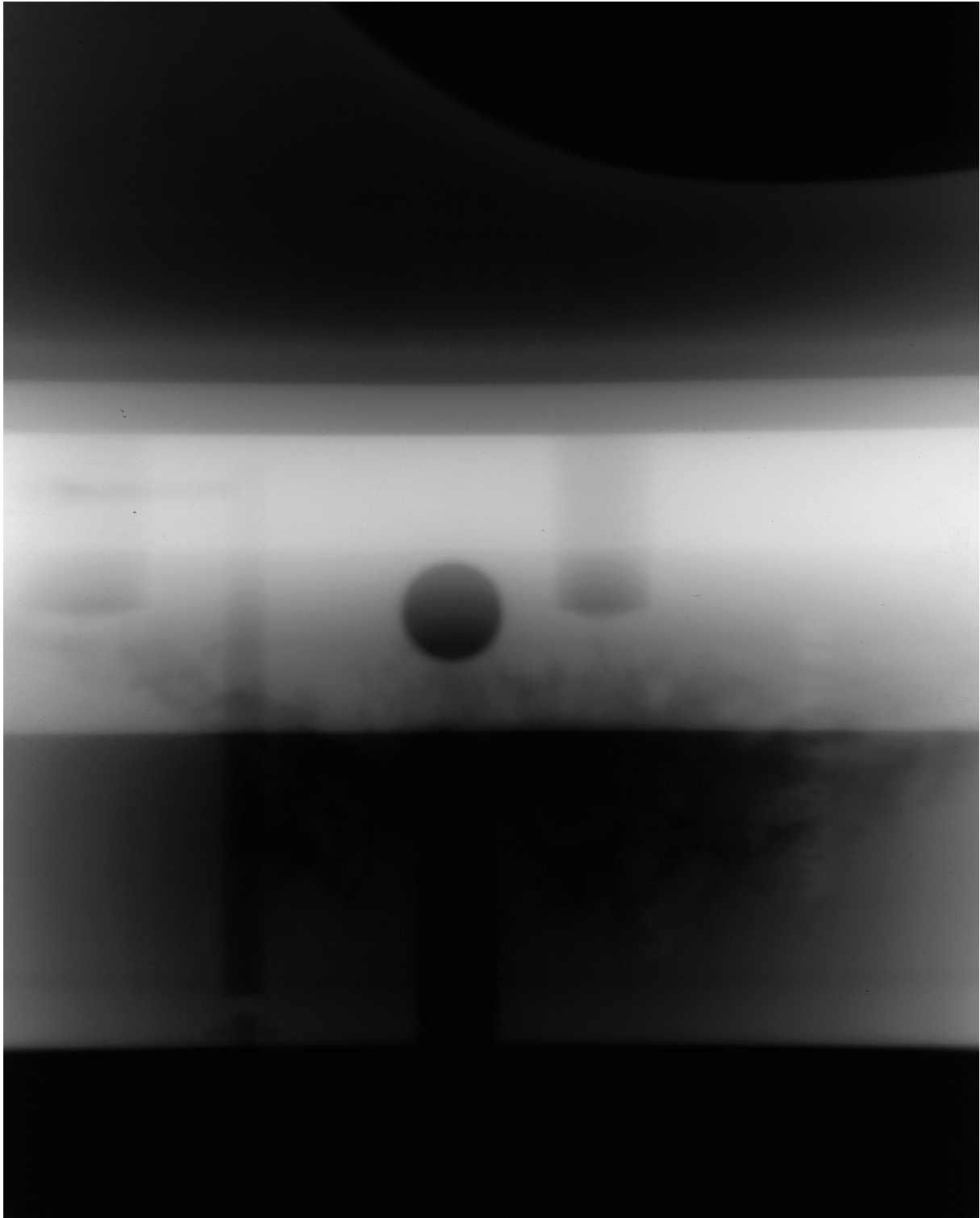
Molto spesso in queste strutture si possono trovare difetti come quello della radiografia più sotto.

In questa lastra si vede un profilo forato più spesso (striscia centrale più chiara), sopra e sotto ci sono le parti più sottili del pezzo (parti scurissime, quasi nere), nelle zone intermedie, tra il centro e gli estremi si possono vedere due zone di spessore intermedio. Questa è la zona più critica, è proprio per questa zona che si ha la massima cura nel controllo. In generale si presta molta attenzione alle zone nelle quali c'è un cambiamento di spessore, come in questo caso.

Nella zona più bassa della radiografia si può notare una grande zona di forma pseudo-circolare caratterizzata da un colore più scuro rispetto al resto, inoltre se si osserva bene si possono vedere delle strutture simili a delle ramificazioni.

Questo è un esempio molto evidente e chiaro di ritiro da raffreddamento. In pratica succede che il raffreddamento non è uniforme in tutto il pezzo. Dalla fisica sappiamo che nella

maggior parte dei materiali ad un raffreddamento corrisponde un ritiro volumetrico. Se il calo di temperatura non è uniforme in tutto il corpo, non è uniforme il ritiro volumetrico. Questo causa esattamente quello che vediamo nella radiografia. È un difetto molto facile da trovare in fusioni, soprattutto di discrete dimensioni come queste. La conseguenza principale di tale difetto è un vistoso calo delle prestazioni meccaniche del pezzo nella zona interessata. In effetti quelle che noi vediamo come ramificazioni sono una serie di cricche collegate le une alle altre, causate dal fatto che nel materiale, non essendoci spazio necessario per le

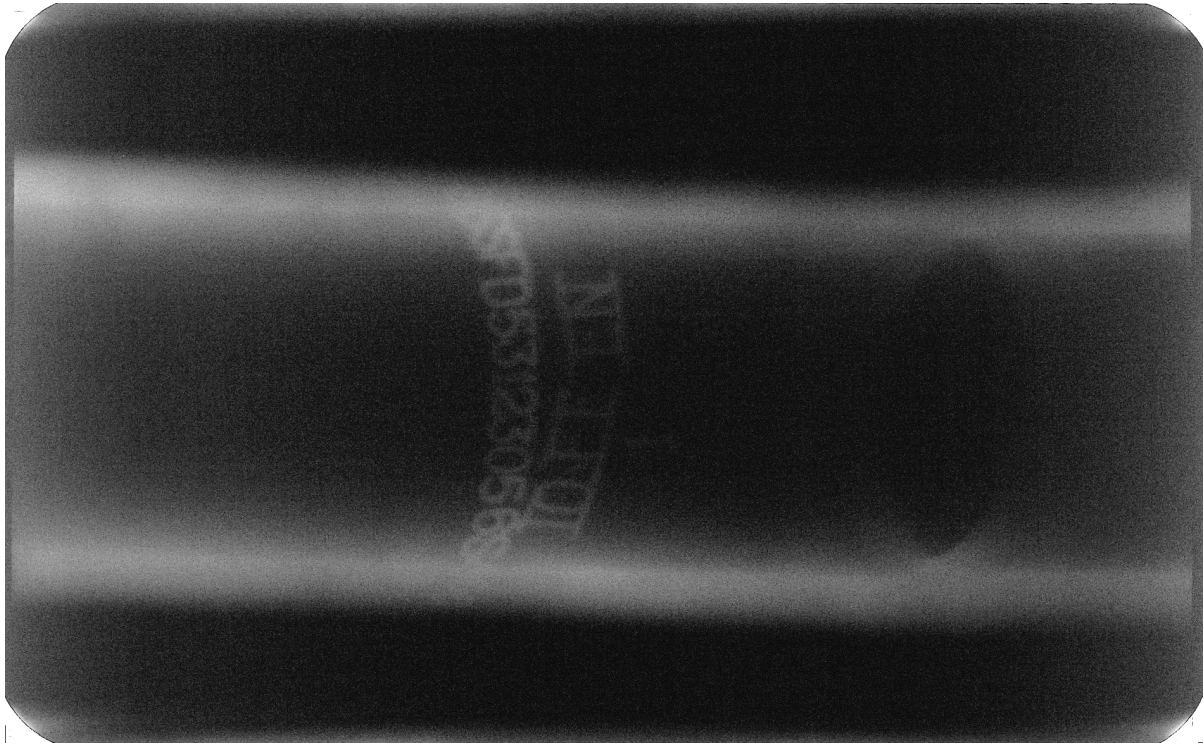


deformazioni del raffreddamento, si instaurano degli sforzi interni che portano appunto

all'indebolimento della struttura.

Questo difetto nelle norme ASME (normative americane) viene catalogato come "Categoria CD" e vista la dimensione e l'estensione del difetto si può dire che è di livello 5.

4.3 PROVINI DI SALDATURE

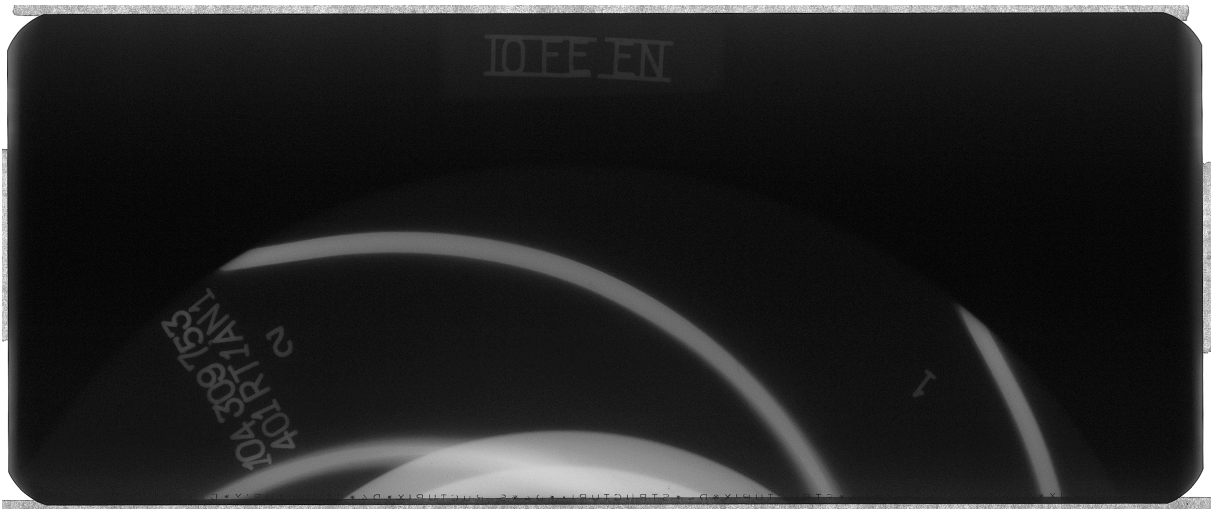


Questa è una sezione dedicata ad un tipo particolare di controllo radiografico. I provini non sono altro che un tondino o tubo di acciaio con un cordone di saldatura in centro. Questi pezzi servono come verifica delle qualifiche dei saldatori, sono prove che vengono fatte periodicamente e che vanno controllate accuratamente. Quello a cui bisogna prestare veramente attenzione in questo caso è un difetto fatale nel campo delle saldature, ovvero la mancanza di penetrazione. Nella lastra seguente si può vedere una tipica radiografia di un tubo di prova saldatura.

Purtroppo l'immagine scannerizzata non rende visibili i fili dei penetrametri, ma in compenso nella parte destra della lastra è visibile un' ellisse più scura del resto.

La spiegazione di tale figura sta nella geometria del pezzo: questo provino aveva un diametro troppo piccolo per poter essere radiografato con diverse lastre. Se non si fosse applicato questo particolare metodo sarebbero state necessarie quattro esposizioni e quattro lastre. In questa radiografia l'operatore non ha messo saldatura e sorgente in direzioni perpendicolari, ma la direzione della saldatura era inclinata rispetto alla sorgente delle radiazioni. Il risultato, come si può vedere è un ellisse, poiché l'arco di saldatura davanti (più vicino alla sorgente) viene radiografato normalmente, ma l'arco dietro viene proiettato sulla

lastra dando così la forma ellittica della saldatura nella lastra.



Vorrei infine presentare e descrivere una lastra un po' particolare.

In questo caso si sta guardando una radiografia di una girante, utilizzata in piccole turbine.

In questa lastra non sono presenti difetti, tuttavia il caso è interessante per fare un confronto con le precedenti. Quest'ultima lastra è stata ottenuta grazie all'esposizione ai raggi X e si può notare che essa è molto più definita e nitida delle altre ai raggi gamma. Il motivo sta proprio nella natura della radiazione che si utilizza. I raggi X sono un tipo di radiazione monocromatica, questo spiega l'assenza di quel lieve "fuori fuoco" che invece è tipico delle gammagrafie.

CONCLUSIONI

Durante il tirocinio per lo svolgimento della tesi mi sono occupato di controllo non distruttivi presso l'azienda Bovo, applicando diverse tecniche secondo le normative previste per ogni singolo manufatto o materiale.

La radiografia è il controllo non distruttivo più utilizzato nelle produzioni di manufatti metallici, nonostante ciò spesso vengono richieste ulteriori verifiche.

Il motivo principale è legato ad una particolare caratteristica delle radiografie: in una lastra può essere verificata la dimensione, la natura e la posizione di un difetto, però non si è in grado di individuarne la profondità.

Molte volte, per un pezzo reputato non idoneo viene richiesto il controllo ultrasonico (UT).

Grazie agli ultrasuoni è possibile, innanzitutto avere conferma della dimensione del difetto rilevata con gli RT, ed è altresì possibile conoscere con una sufficiente precisione anche la profondità dello stesso all'interno del pezzo.

In diversi casi, invece il controllo radiografico era effettuato in seguito ad un controllo magnetoscopico. Questo avviene soprattutto per saldature particolarmente importanti dal punto di vista strutturale. Quando viene individuata con una magnetoscopia una cricca in una saldatura, per diversi motivi può essere utile conoscerne la profondità della stessa. In questi casi può essere utile la radiografia per capire se si tratta di una cricca poco profonda o se è un difetto più importante come la mancanza di penetrazione della saldatura.

BIBLIOGRAFIA

1. R. Montanari “Tecniche sperimentali per la caratterizzazione dei materiali”
Associazione Italiana di metallurgia
2. P. Mazzoldi, M Nigro, C Voci “Elementi di Fisica, Elettromagnetismo” EdiSES
3. R. A. Michelin, A. Munari “Fondamenti di chimica per le tecnologie” CEDAM
4. C. R Brundle, C. A Evans Jr, S. Wilson “Encyclopedia of materials Characterization”
Materials Characterization Series (1992)
5. Pianeta Inossidabili
6. www.ndt.org
7. EN 1330-2: *Non-destructive testing. Terminology. Terms common to the non-destructive testing methods* (1998)
8. EN 1330-3: *Non-destructive testing. Terminology. Terms used in industrial radiographic testing* (1997)