

Introduzione ai controlli non distruttivi

Generalità e Confronto fra i Metodi



Definizione di controllo non distruttivo

- Esame di un manufatto eseguito con un metodo che non produca alterazioni sensibili tali da pregiudicarne la **funzionalità**



Fasi del controllo RT di un apparecchio in pressione

Requisiti e finalità dei CND

REQUISITI

- Capacità di non alterare la funzionalità del componente
- Rapidità di esecuzione
- Possibilità di esecuzione diretta anche in campo
- Risultato immediato

FINALITA'

- Individuazione di discontinuità sia superficiali sia volumetriche
- Eventuale dimensionamento delle discontinuità
- Monitoraggio durante l'esercizio

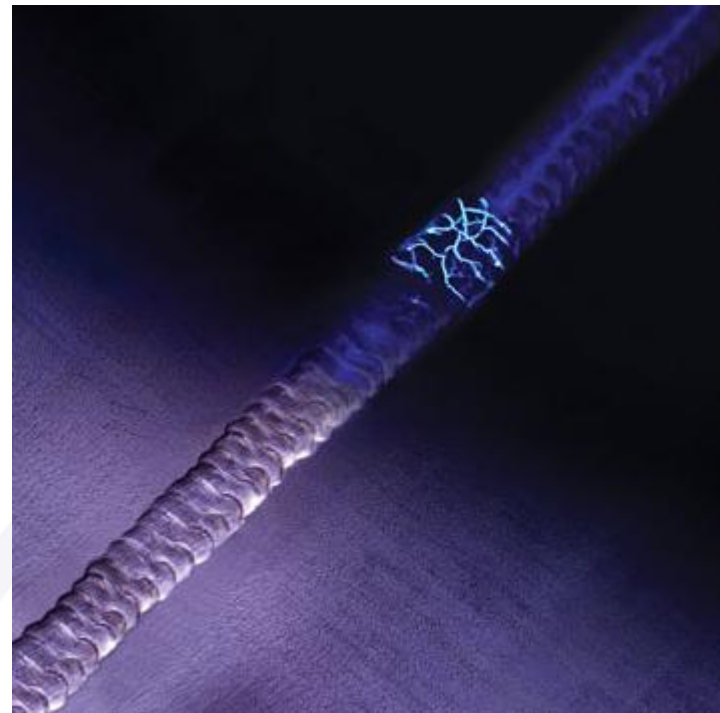
Tipologie di CND

INDAGINI DIFETTOSCOPICHE

Individuano, posizionano e dimensionano discontinuità sia interne sia superficiali, aventi caratteristiche bidimensionali e tridimensionali

INDAGINI STRUTTURALI

Individuano alterazioni della struttura metallurgica del manufatto



PT fluorescenti

Metodi per indagini difettoscopiche

ESAME VISIVO (VT)

LIQUIDI PENETRANTI (PT)

PARTICELLE MAGNETICHE (MT)

CORRENTI INDOTTE (ET)

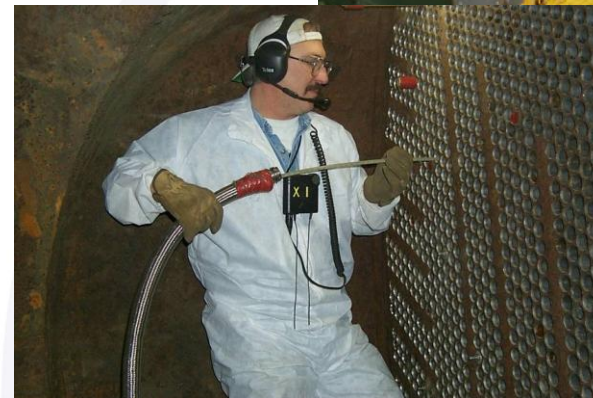
ULTRASONORO (UT)

RADIOGRAFICO (RT)

RIVELAZIONE FUGHE (LT)

EMISSIONE ACUSTICA (AT)

TERMOGRAFIA (TT)



Indagini strutturali e metallurgiche

REPLICHE

Controllo non distruttivo superficiale che permette, tramite l'applicazione di una pellicola (replica), di rilevare la micro-struttura dei materiali in modo da poterla osservare con microscopio ottico od elettronico.



Replica su linea vapore

MISURE DI DUREZZA

Prova meccanica, effettuata applicando un carico localizzato tramite un penetratore, che permette di valutare la resistenza che una struttura offre alla deformazione elasto-plastica.

Posizione della discontinuità

In relazione alla posizione occupata dalla discontinuità in un manufatto, si possono distinguere:

Metodi SUPERFICIALI

Metodi VOLUMETRICI

Metodi superficiali

**SI DEFINISCONO SUPERFICIALI QUEI METODI CHE
CONSENTONO DI RILEVARE DISCONTINUITÀ CHE
GIACCIONO IN SUPERFICIE O POCO SOTTO LA STESSA**

ESSI SONO:

- **Esame visivo**
- **Particelle magnetiche**
- **Liquidi penetranti**
- **Correnti indotte**

Metodi volumetrici

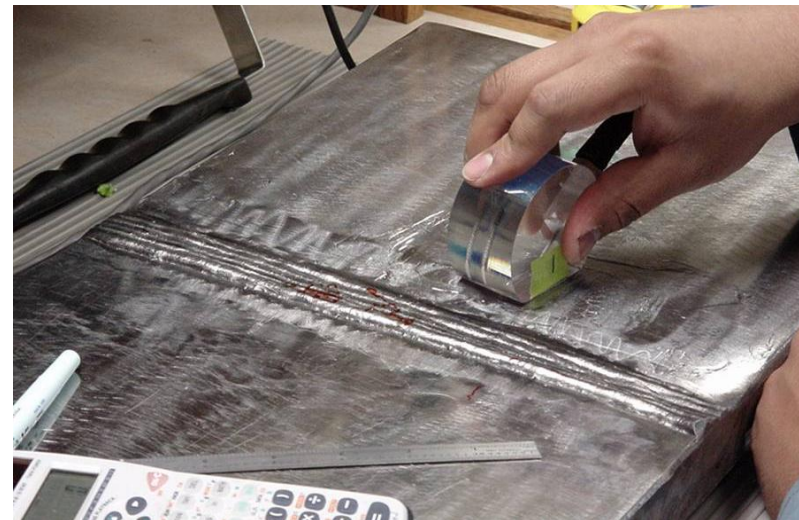
**SI DEFINISCONO VOLUMETRICI QUEI METODI CHE
CONSENTONO DI EVIDENZIARE DISCONTINUITA'
POSIZIONATE NEL VOLUME DEL MANUFATTO E NON
NECESSARIAMENTE EMERGENTI IN SUPERFICIE**

ESSI SONO:

- **Radiografico**
- **Ultrasonoro**
- **Termografia**
- **Rivelazione fughe**
- **Emissione acustica**

Caratterizzazione della discontinuità

- I controlli non distruttivi possono essere differenziati in funzione della capacità di caratterizzare il difetto non solo come posizione ma anche come **tipologia**
- L'unico metodo in grado di caratterizzare in modo completo (posizione, dimensioni, tipologia) una discontinuità é il controllo mediante **ultrasuoni**



Fasi del controllo UT di un giunto testa a testa

Esame Visivo



Esame visivo: introduzione

- L'esame visivo è un controllo non distruttivo che si basa sulle leggi dell'Ottica Geometrica e sulla Fisiologia della percezione visiva dell'operatore.
- Il controllo visivo viene effettuato per:
 - Analisi dimensionale del manufatto
 - Analisi qualitativa del manufatto
 - Applicabilità di ulteriori controlli non distruttivi



Esame visivo: strumentazione

- La strumentazione per l'esame visivo può essere suddivisa in strumentazione per:
 - **Esame visivo diretto**
 - Strumenti quantitativi
 - Strumenti qualitativi / semi-quantitativi
 - **Esame visivo remoto o remotizzato**
- **Esame visivo diretto** (esame che non prevede l'interruzione dell'asse ottico occhio/superficie da ispezionare):
 - **Calibri a nonio**
 - **Metri**
 - **Righe metalliche**
 - **Comparatori a quadrante**
 - **Calibri di saldatura**
 - **Squadrette**
 - ...



Set di calibri di saldatura

Strumentazione: esame visivo diretto

- Calibri a nonio, metri e righe metalliche che hanno le seguenti caratteristiche:
 - **Semplicità d'impiego**
 - **Ottima precisione**
 - **Facile verifica d'utilizzo**
- Specchi e lenti possono assistere l'operatore nelle zone di non accessibilità e nell'interpretazione (in remoto).
- Come previsto dai principali riferimenti mondiali, viene richiesto di poter risolvere un determinato dettaglio in funzione del criterio d'accettabilità richiesto mediante:
 - **Blocco campione contenente difetti noti**
 - **Blocco di calibratura**
 - **Filo di dimensione opportune**



Strumentazione: esame visivo diretto

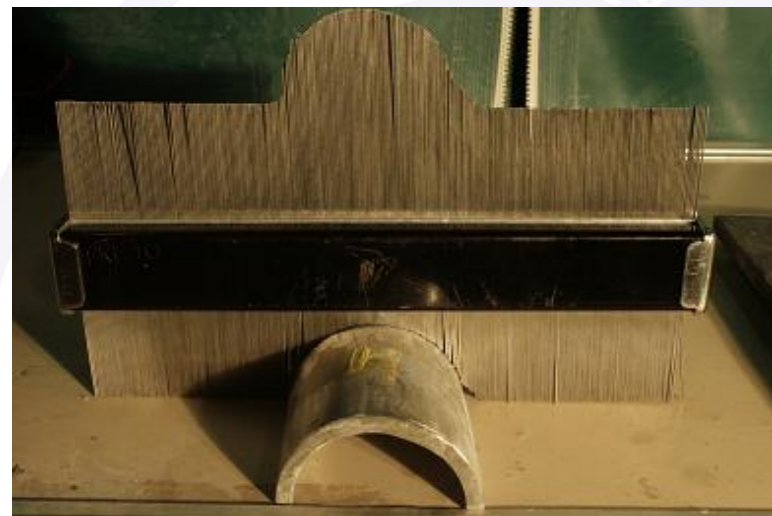
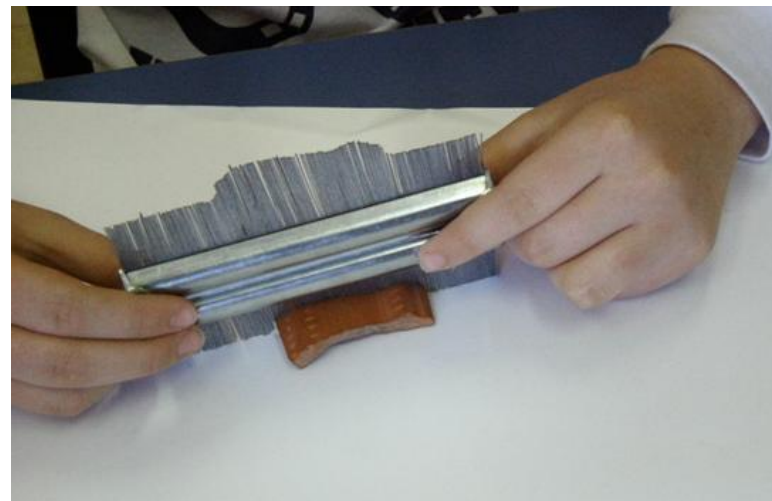
- I calibri di saldatura sono lo strumento più utilizzato per effettuare l'esame dimensionale dei giunti saldati.
- Si dividono in calibri di saldatura:
 - Semi quantitativi
 - Quantitativi
- Semiquantitativi:
 - Solitamente vengono impiegati su giunti d'angolo per la rilevazione di parametri quali altezza di gola, concavità e convessità.



Controllo di un giunto d'angolo con weld fillet gauge o "scarsetta"

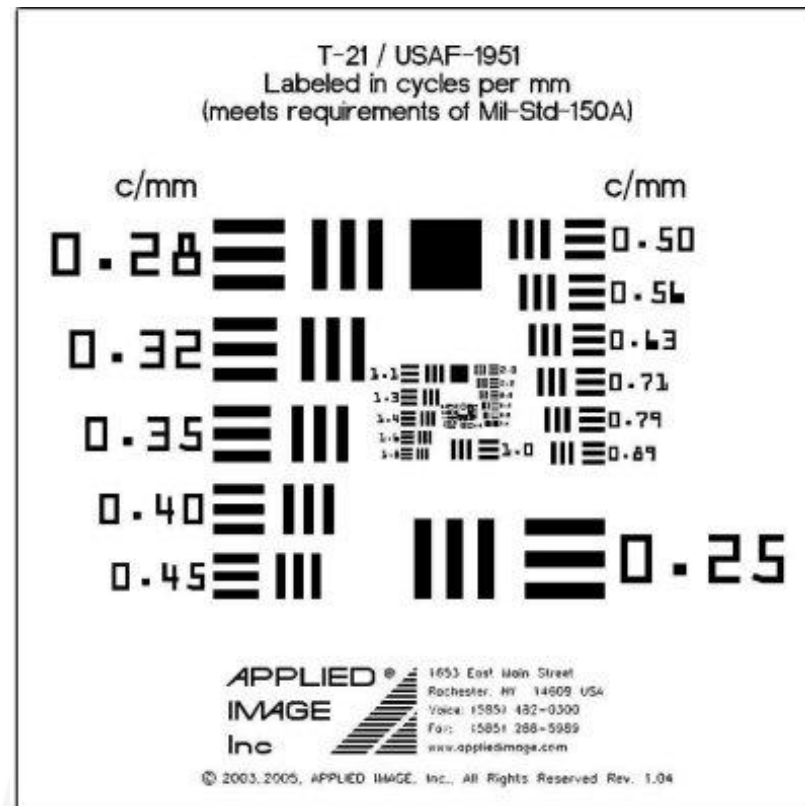
Calibri: profilometri

- Consentono di rilevare il profilo di una saldatura o di una cavità
 - Sono una sorta di pettine metallico costituito da un consistente numero di fili di acciaio
 - Posizionando lo strumento ed agendo con una sufficiente pressione si ottiene il calco della superficie



Strumentazione: esame visivo remotizzato

- Gli strumenti che si utilizzano per l'esame visivo remotizzato (esame che prevede l'interruzione dell'asse ottico occhio/superficie da ispezionare):
 - **Boroscopio**
 - **Fibroscopio**
 - **Videoendoscopio**
- I principali riferimenti mondiali richiedono che l'esame visivo remotizzato sia equiparato, mediante procedura, con l'esame visivo diretto.
- Le verifiche da effettuarsi su un sistema remotizzato sono:
 - Ingrandimento
 - Definizione
 - Potere risolutivo
 - Illuminamento
 - Registrazione
 - ...



Test chart USAF-1951

Esame visivo: applicazione

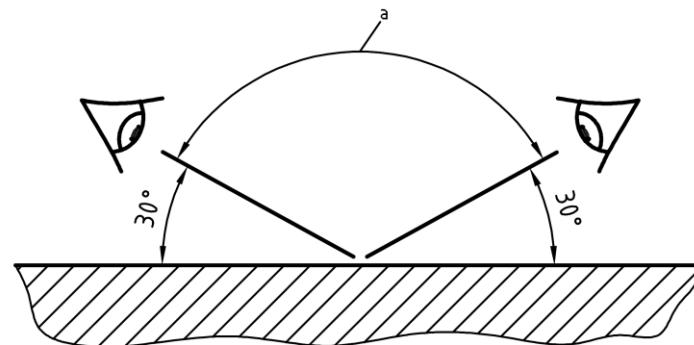
- Tutti i principali riferimenti prevedono che l'operatore abbia pieno accesso ai principali documenti di fabbricazione quali ad esempio specifica di saldatura, qualifica del saldatore, disegni tecnici, normative di controllo ...
- E' buona norma che il personale addetto alla prova sia qualificato e conforme a esami specifici di idoneità visiva;
- Al fine della ripetibilità dei risultati si dovrebbe effettuare una qualifica del procedimento di controllo;



Visual Testing su tubazioni – cortesia
T.C.Inspection.inc

Esame visivo: applicazione

- Il controllo va eseguito da una distanza minima che è funzione del potere risolutivo dello strumento o dell'occhio dell'operatore e una **distanza massima di 600 mm**.
- Angolo di visualizzazione tra asse ottico occhio/manufatto e superficie del pezzo maggiore di 30° ;
- L'illuminamento sulla superficie deve essere sufficientemente diffondente e con sorgente di luce che può essere sia naturale sia artificiale a patto che non sia di natura monocromatica;



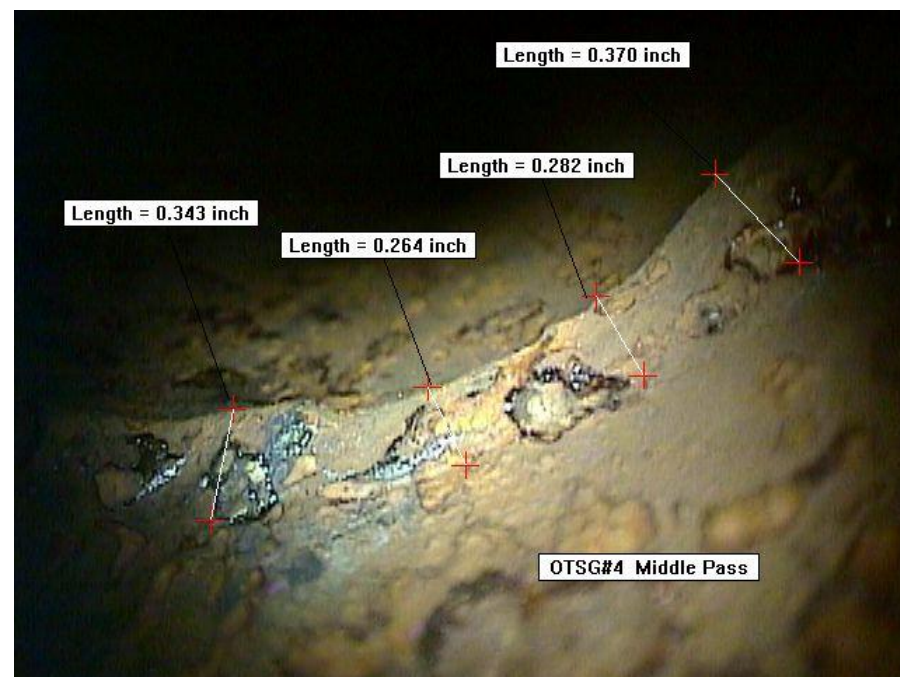
Condizioni di visione ottimale tra superficie del manufatto e operatore



Illuminamento non sufficientemente distribuito su giunto saldato in TIG

Esame visivo: applicazione

- Una volta interpretate le varie indicazioni ed effettuate i dimensionamenti, è necessario applicare un criterio d'accettabilità al fine di giudicare se il giunto saldato è conforme o meno ai requisiti del progettista (a tal proposito si ricorda che di solito il criterio d'accettabilità non è a discrezione dell'operatore).
- Una volta eseguito il controllo lo si dovrebbe verbalizzare su opportuno modulo di controllo al fine di palesare e rintracciare il controllo effettuato.



Dimensionamento di un'imperfezione durante un controllo remotizzato

Esame visivo: applicazione

VERBALE DI PROVA / REPORT ESAME VISIVO VISUAL EXAMINATION					- VT -	
					Pag. / Sheet Rev. Rev.	
Oggetto: Object:					Comm.: job:	
Cliente: Customer:		Costruttore: Manufacturer:		Disegno: Drawing:		
CONDIZIONI D'ESAME / TEST CONDITIONS						
Norma di riferimento: Reference standard:				Procedura di controllo: Test procedure:		
Criteri di accettabilità: Acceptance criteres:						
Condizioni superficiali: Surface finish:		Come saldato () As welded	Molato () Ground	Lav. di macchina () Machined	Forgiato () Forged	
TIPO DI CONTROLLO / EXAMINATION METHOD						
Metodo diretto: Direct method:				Metodo remoto: Remote method:		
Apparecchiatura: Equipment:					N° n°	
Preparazione superficiale: Surface preparation:						
Attrezzatura ausiliare per illuminamento: Auxiliary lighting apparatus:					Illuminamento (lx): Illuminance (lx):	
Schema particolari esaminati, allegato: Examined details sketch annex:						
RISULTATI DEL CONTROLLO / TEST RESULTS						
Particolare esaminato Tested detail	Indicazione ril. Detected indication	L1 mm	L2 mm	Ltot mm	Riferimento misure Measure reference	Esito (A/NA) Result (A/NA)
Note e schizzi: Remarks and sketch:						
Luogo Place		Data Date		Addetto alla prova Inspector		Firma Signature

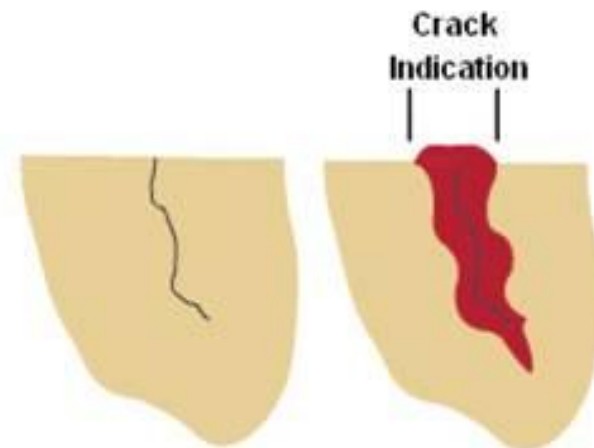
Controlli non distruttivi

Controllo con liquidi penetranti (PT)



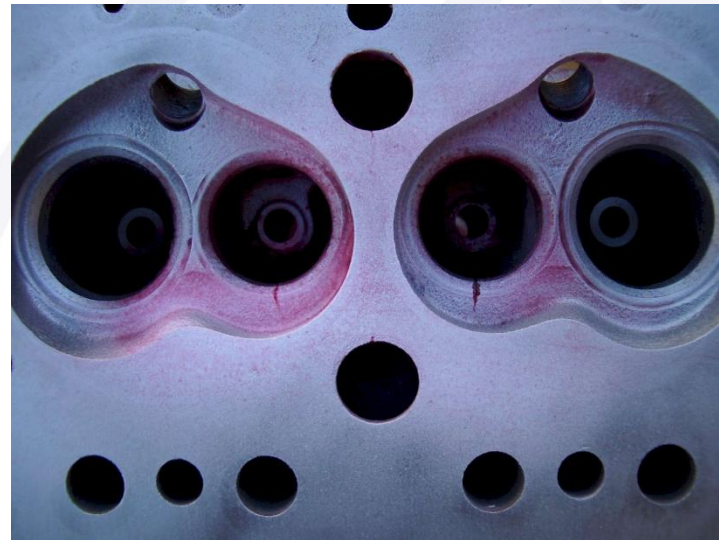
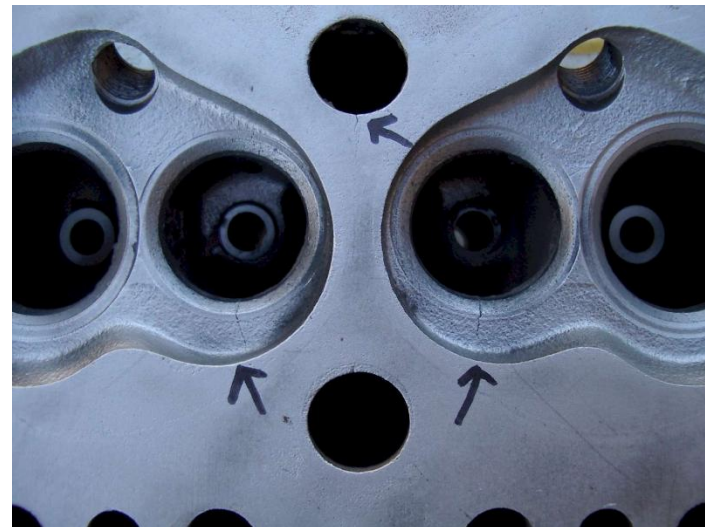
Generalità

- Il metodo di controllo non distruttivo con liquidi penetranti è fondamentalmente basato **sull'esame visivo** della superficie dopo l'applicazione, in sequenza, di un prodotto penetrante e di un rivelatore
- In sostanza, il metodo rende visibili **discontinuità affioranti in superficie non visibili o difficilmente visibili ad occhio nudo**



Principi fisici

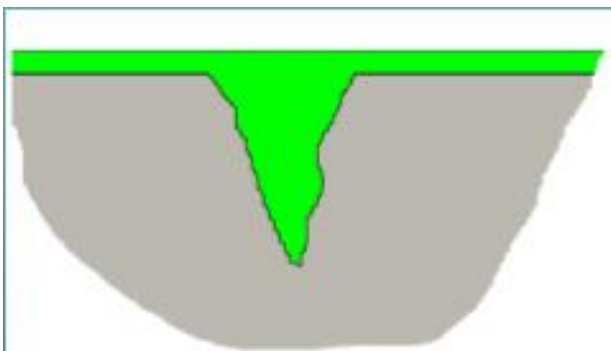
- Il metodo prevede l'impiego di un prodotto con elevate caratteristiche di **bagnatura** delle superfici
- Il prodotto penetra all'interno delle eventuali **discontinuità affioranti in superficie** fondamentalmente attraverso fenomeni di capillarità
- L'eccesso di penetrante viene poi **rimosso** dalla superficie per consentire l'applicazione del **rilevatore**, la cui funzione è esaltare il contrasto tra il penetrante e la superficie in esame



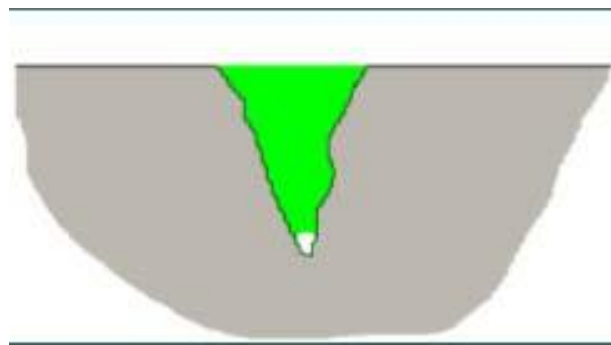
Procedure di controllo

1) Pulitura preliminare

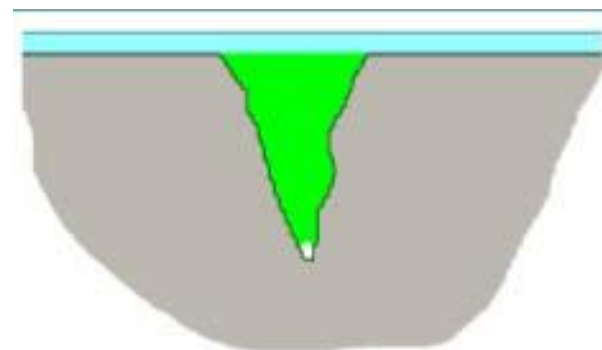
2) Applicazione del penetrante



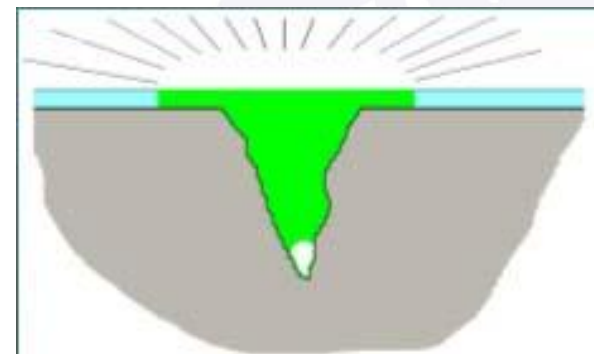
3) Rimozione dell'eccesso di penetrante



4) Applicazione del rivelatore



5) Interpretazione delle indicazioni



6) Pulitura finale

Superfici ispezionabili

- In **pratica**, tutte le superfici non porose, prive di gole o zone in grado di assorbire il penetrante



Superfici non ispezionabili

- Sono quelle di parti ad **elevata rugosità superficiale**, come ad esempio fusioni in sabbia
- **Ceramiche** porose
- Legnami, altri materiali fibrosi
- Materiali **plastici** in grado di assorbire i liquidi o reagire con essi
- Componenti trattate con **rivestimenti superficiali**
- In presenza di un maggiore rumore di fondo le discontinuità effettivamente presenti divengono meno visibili



Scelta dei penetranti e dei rivelatori

Penetrante

Tipo

I Fluorescent

II Visible

Method

A Water Washable

B Postemulsifiable - Lipophilic

C Solvent Removable

D Postemulsifiable - Hydrophilic

Rivelatore

Tipologia

a Dry Powder

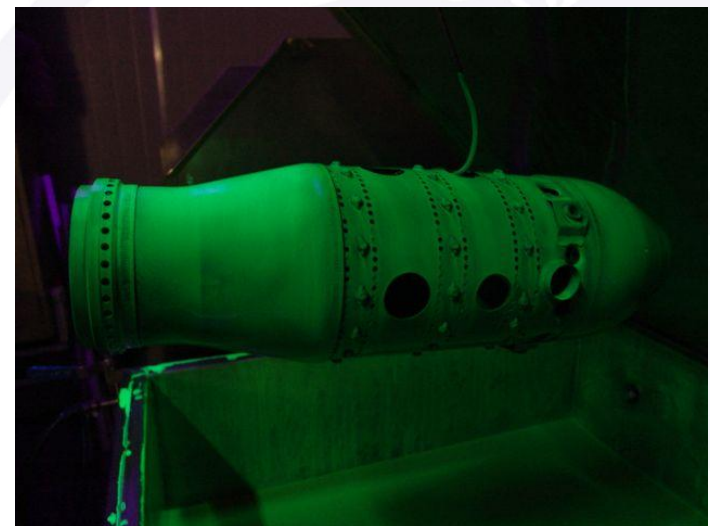
b Wet, Water Soluble

c Wet, Water Suspendable

d Wet, Non-Aqueous

Liquidi fluorescenti e a contrasto di colore

- I prodotti normalmente impiegati sono a **contrasto di colore** o **fluorescenti**
 - Nel caso di prodotti a contrasto di colore l'esame è condotto in luce bianca
 - Per liquidi fluorescenti si deve impiegare luce ultravioletta, in ambiente oscurata
- I prodotti fluorescenti garantiscono una **maggiore sensibilità** per ragioni legate alla fisiologia dell'occhio umano



Tipologie di penetrante

I penetranti possono anche essere classificati in funzione del metodo di rimozione:

- **rimovibili con solvente** sono adoperati per lo più per controlli a campione o per superfici limitate; sono rimossi con panni leggermente imbevuti di solvente
- **lavabili con acqua** sono rimossi tramite un getto di acqua nebulizzata. Si tratta dei prodotti più economici, facili da rimuovere ed adatti per superfici estese
- **post - emulsionabili**: possono essere rimossi solo dopo la loro emulsificazione con appositi emulsificatori.



Tipologie di rivelatore

- La funzione del rivelatore è assorbire localmente il penetrante e renderlo visibile, in superficie, per effetto del suo contrasto
- I rivelatori sono disponibili in varie tipologie
 - **Rivelatori secchi:** sono in grado di fornire indicazioni molto definite
 - **Rivelatori umidi, in sospensione acquosa:** si tratta di prodotti che creano un sottile strato sulla superficie, dopo l'applicazione, la cui fase liquida evapora
 - **Rivelatori umidi, in soluzione acquosa:** si tratta di prodotti che risultano disciolti nella fase liquida e ricristallizzano, dopo l'asciugatura
 - **Rivelatori umidi base solvente:** sono i prodotti più sensibili, costosi e di uso limitato a superfici poco estese. Forniti in bombolette spray, in genere



Interpretazione delle indicazioni

- Durante questa fase le indicazioni sono valutate a fronte di specifici **criteri di accettabilità** (basati, a loro volta, su opportuni livelli di qualità).
- Al solito, le indicazioni possono essere classificate come **rilevanti, non rilevanti o false**



Esempio di indicazioni non rilevanti

Esempio di indicazioni rilevanti

- [illegible]

Attrezzature



Sistemi portatili



Courtesy of Nebraska Army National Guard

Sistemi fissi

Vantaggi del metodo

- Relativa **facilità d'uso**
- Applicabile a **numerosi tipi di materiale**
- Superfici ispezionabili **ampie**, con costi contenuti
- Sono ispezionabili anche pezzi a **geometria complessa**
- Le indicazioni sono visibili **direttamente sulla superficie** del pezzo
- Acquisto di apparecchiature e consumabili **a basso costo**
- Estrema flessibilità dei prodotti in **bomboletta spray**



Svantaggi del metodo

- Sono rilevabili solo discontinuità **affioranti in superficie**
- I materiali devono avere superfici non porose
- La **pulitura preliminare** è una fase critica (la sensibilità può risultare compromessa da inquinanti)
- Sono necessarie varie fasi da **procedurare**, per garantire la massima ripetibilità dei risultati
- Occorre fare attenzione a taluni prodotti che possono risultare **nocivi** o **dannosi** per contatto, inalazione, ingestione
- Talune **lavorazioni superficiali** prima del controllo possono diminuire la sensibilità dell'esame
- La **pulitura finale** può essere necessaria per eliminare ogni traccia di prodotti



Verbale di Prova

VERBALE DI PROVA / REPORT CONTROLLO CON LIQUIDI PENETRANTI LIQUID PENETRANT EXAMINATION			 - PT - Pag. / Sheet Rev. Rev.	
Oggetto: <i>Object:</i>				Comm.: <i>job:</i>	
Cliente: <i>Customer:</i>		Costruttore: <i>Manufacturer:</i>		Disegno: <i>Drawing:</i>	
CONDIZIONI D'ESAME / TEST CONDITIONS					
Riferimenti: <i>Reference standards:</i>			Procedura di controllo: <i>Test procedure:</i>		
Superficie d'esame: Esterna () Interna () <i>Test surface:</i> External Internal			Condizioni superficiali: <i>Surface finish:</i>		Temperatura (°C): <i>Temperature (°C):</i>
TIPO DI CONTROLLO / EXAMINATION METHOD					
Penetrante: Colorato () Fluorescente () <i>Penetrant:</i> Visible Dye Fluorescent Dye		Rivelatore: A secco () Liquido () <i>Developer:</i> Dry Liquid			
Rimozione: Lavabile con acqua () <i>Remove:</i> Water washable		Rimovibile con solvente () <i>Solvent removable</i>		Post-emulsionabile () <i>Post-emulsifiable</i>	
Lampada a luce nera: <i>Black light:</i>		N° <i>n°</i>	Intensità ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$): <i>Intensity ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$):</i>		Strum. di misura: <i>Meas. equipment:</i>
PRODOTTI / PRODUCTS					
Penetrante: <i>Penetrant:</i>		Rivelatore: <i>Developer:</i>		Solvente: <i>Solvent:</i>	
Emulsificatore: <i>Emulsifier:</i>					

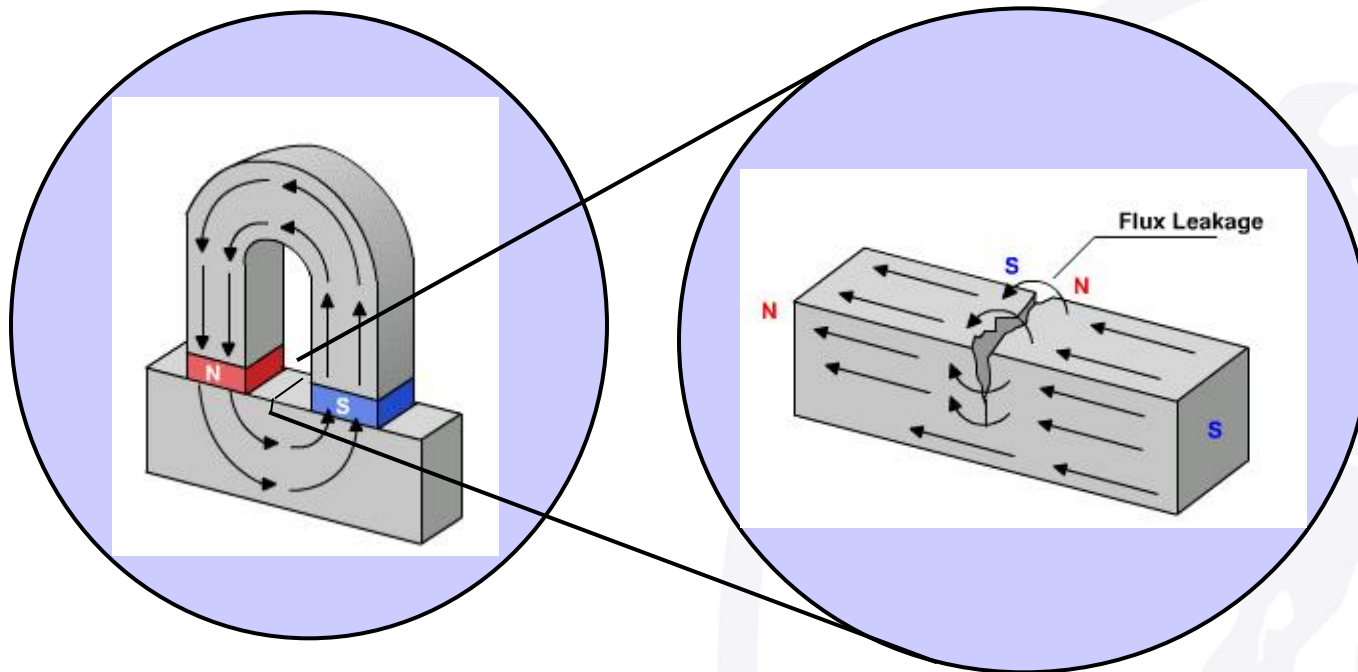
Controlli non distruttivi

Controllo con particelle magnetiche (MT)



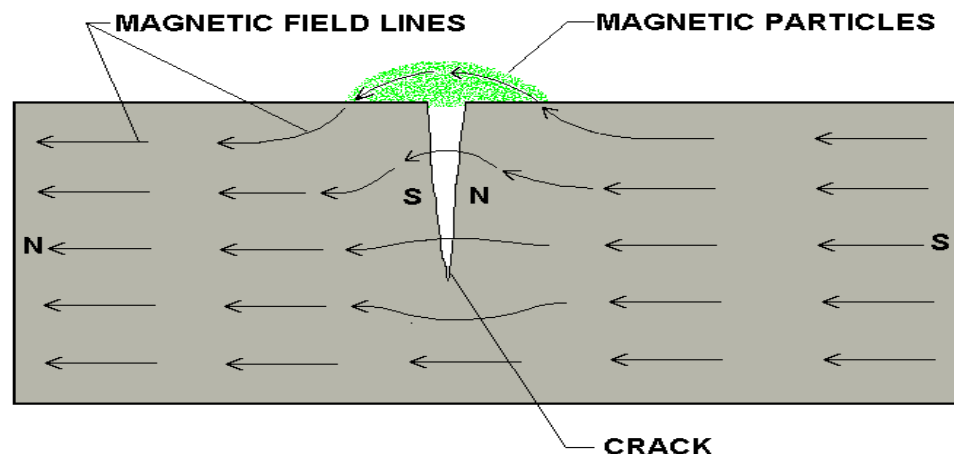
Principio del metodo con particelle magnetiche

- Al pezzo in esame è applicato un intenso **campo magnetico**, ottenuto mediante un'apposita apparecchiatura
- Qualora il pezzo presenti una discontinuità, essa interromperà le linee di flusso magnetico, creando una **fuga di flusso** sulla superficie del pezzo



Principio del metodo con particelle magnetiche

- Il **rivelatore** è applicato alla superficie da esaminare
- Le particelle ferromagnetiche, ricoperte da un pigmento risultano attratte dalla **fuga di flusso localizzata** sino a formare un'indicazione in corrispondenza della discontinuità
- L'indicazione può essere rilevata in presenza delle adeguate condizioni di **illuminamento**



Procedure di controllo

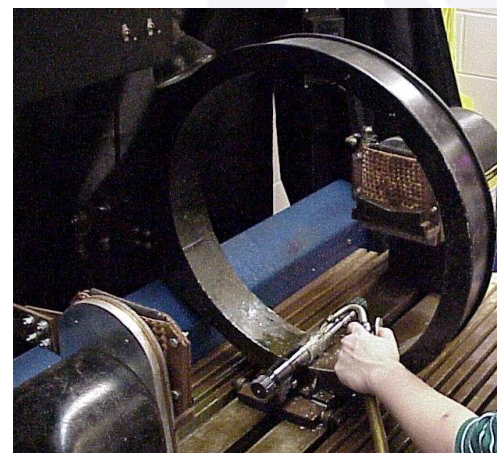
- I punti fondamentali di una **procedura** di controllo sono:
 - Pulitura preliminare delle superfici
 - Applicazione (se previsto) di un idoneo mezzo di contrasto
 - Applicazione del campo magnetico
 - Applicazione del rivelatore
 - Interpretazione delle indicazioni
 - Verbalizzazione delle indicazioni
 - Smagnetizzazione del pezzo (se prevista)



Rivelatore secco, a contrasto di colore

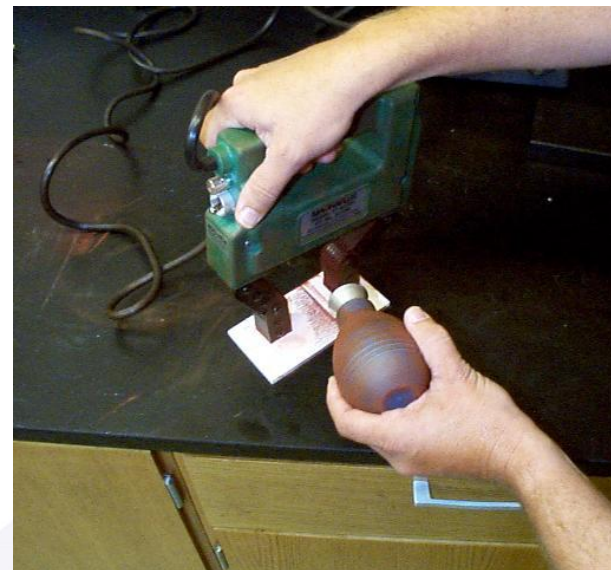
Applicazione del campo magnetico

- Il **campo magnetico** può essere indotto nel pezzo con numerosi sistemi
 - un **elettromagnete** o **magnete permanente** a contatto del pezzo
 - attraverso una **corrente elettrica** che percorre il pezzo
 - attraverso una **bobina**, posta in prossimità del pezzo, attraversata da corrente elettrica



Applicazione del rivelatore

- Il metodo MT impiega rivelatori **secchi** o in **sospensione** (umidi)
- Nel caso dei rivelatori secchi, gli stessi sono applicati sulla superficie mentre per gli umidi si adopera un mezzo liquido che li trascina sulla superficie
- I **rivelatori secchi** sono molto pratici, per quanto abbiano alcune limitazioni
- I **rivelatori in sospensione** risultano mediamente più sensibili ed applicabili in ogni posizione



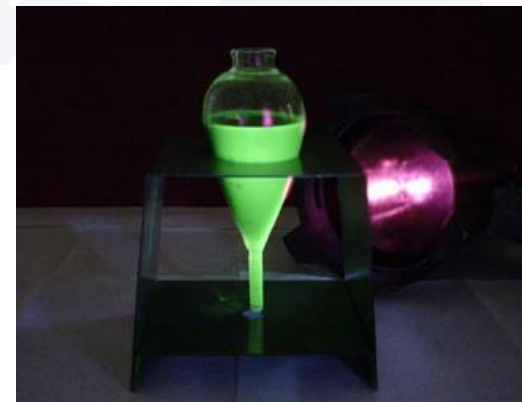
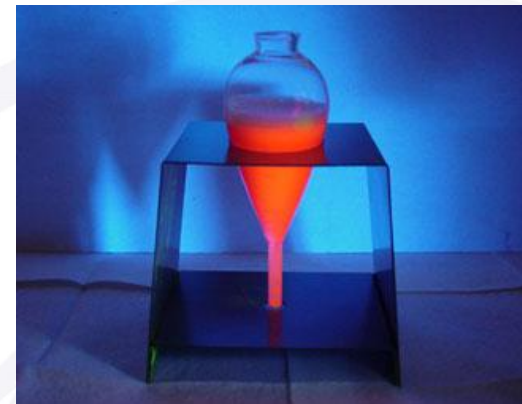
Rivelatori secchi

- Si tratta di polveri ferromagnetiche disponibili in un'ampia gamma di **colorazioni**
- Di principio, si scelgono le colorazioni in grado di garantire le condizioni di **massimo contrasto** rispetto alla superficie in esame
- Va spruzzato **contemporaneamente alla magnetizzazione del pezzo** per evitare che la polvere cada dal pezzo prima che sia attratta in corrispondenza delle zone ove vi è flusso disperso.



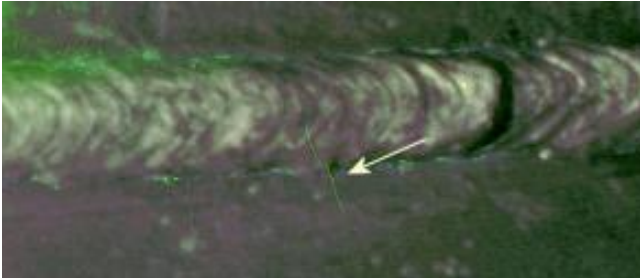
Rivelatori umidi

- Sono normalmente a **contrasto di colore** o **fluorescenti**
- Il mezzo di sospensione è generalmente un idrocarburo leggero, anche se esistono rivelatori in acqua
- Il rivelatore in sospensione liquida invece va spruzzato sempre **immediatamente prima o nelle prime fasi** della magnetizzazione stessa, onde evitare che lo scorrimento del liquido provocato dalla violenza del getto possa cancellare le indicazioni

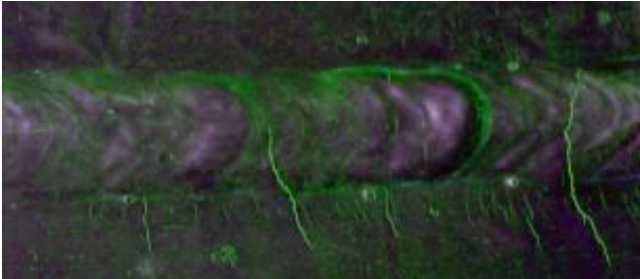


Criteri di scelta del rivelatore

Fattori di scelta	Posizione della saldatura	Piana
		Polveri secche Polveri in sospensione
	Natura e posizione dei difetti	Verticale o sopratesta
		Polveri in sospensione
		Difetti fini e superficiali
		Polveri in sospensione
	Stato superficiale	Difetti grandi e subsuperficiali
		Polveri secche
		Rugoso
		Polveri a grano grosso (secche)
Liscio		
Polvere in sospensione		
	Umido	
	Polveri in sospensione	



RIVELATORE FLUORESCENTE IN SOSPENSIONE DI ACQUA



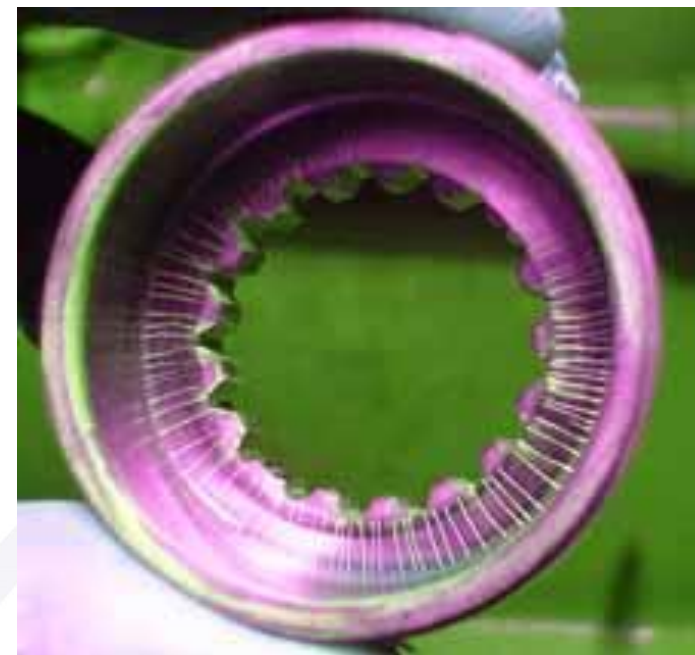
RIVELATORE FLUORESCENTE IN SOSPENSIONE DI KEROSENOIL



POLVERE NERA IN KEROSENOIL E LACCA DI CONTRASTO

Interpretazione delle indicazioni

- Dopo l'applicazione del rivelatore si possono interpretare le **indicazioni**:
 - **False indicazioni**: dovute ad accumuli di rivelatore, che si deposita entro scanalature, negli angoli o nelle rugosità superficiali. E' sufficiente soffiare leggermente o sciacquare moderatamente perché scompaiano.
 - **Indicazioni spurie**: più difficili da riconoscere, provengono effettivamente da variazioni di campo magnetico, le quali non sono provocate comunque da difetti, ma da particolari situazioni (eccessiva magnetizzazione, forma di pezzo, variazioni di permeabilità magnetica)
 - **Indicazioni provocate da imperfezioni**:, a loro volta classificabili in accettabili o non accettabili



Rivelatore umido fluorescente

Cortesia Sulzer

Vantaggi del metodo con particelle magnetiche

- È in grado di rilevare discontinuità **superficiali** e sub-**superficiali**
- Pezzi di **geometria anche complessa** possono essere controllati con semplicità
- la **pulitura preliminare delle superfici** è meno critica rispetto ad altri metodi (PT): la maggior parte dei prodotti inquinanti non altera la direzione e l'intensità delle linee di flusso
- Il metodo è **rapido** e le indicazioni risultano visibili direttamente sulla superficie,
- I **costi** sono complessivamente contenuti
- Le attrezzature risultano **portatili**, con notevole flessibilità nel caso dei controlli in campo



Limitazioni del controllo con particelle magnetiche

- Il metodo è **inapplicabile** a materiali non ferromagnetici (numerosi acciai inossidabili, leghe di Al, Mg, Ti, Cu, Ni ed altre)
- Per **controlli in posizione** devono essere utilizzati rivelatori idonei
- In alcuni casi può essere necessario rimuovere **verniciature** o strati protettivi superficiali per raggiungere la desiderata sensibilità di controllo
- La capacità di rilevare **discontinuità subsuperficiali** è limitata
- Si rendono spesso necessari la pulitura dopo il controllo e la smagnetizzazione
- E' fondamentale **l'orientamento** tra il piano della discontinuità e la direzione del campo magnetico



Verbale di prova

VERBALE DI PROVA / REPORT CONTROLLO MAGNETOSCOPICO MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION			- MT -..... Pag. / Sheet Rev. Rev.	
Oggetto: <i>Object:</i>				Comm.: <i>job:</i>	
Cliente: <i>Customer:</i>		Costruttore: <i>Manufacturer:</i>		Disegno: <i>Drawing:</i>	
CONDIZIONI D'ESAME / TEST CONDITIONS					
Norma di riferimento: <i>Reference standard:</i>		Procedura di controllo: <i>Test procedure:</i>		Sup. d'esame: <i>Test surface:</i>	
				Esterna () <i>External</i>	Interna () <i>Internal</i>
Temperatura (°C): <i>Temperature (°C):</i>		Illuminamento (lx): <i>Illuminance (lx):</i>		Strum. misura: <i>Meas. equipment:</i>	
				N° <i>n°</i>	
TECNICHE DI MAGNETIZZAZIONE / MAGNETIZATION TECHNIQUES					
Tecnica di magnetizzazione: <i>Magnetization technique:</i>			Apparecchiatura: <i>Equipment:</i>		N° <i>n°</i>
Tipo di corrente: <i>Type of current:</i>		Corrente (A): <i>Current (A):</i>	Tensione (V): <i>Voltage (V):</i>	Distanza puntali/espansioni (cm): <i>Prod/Pole spacing (cm):</i>	
Pulizia iniziale () <i>Cleaning</i>		Metodo: <i>Method:</i>		Prodotti: <i>Products:</i>	

Controlli non distruttivi

Esame radiografico

(RT)



Introduzione

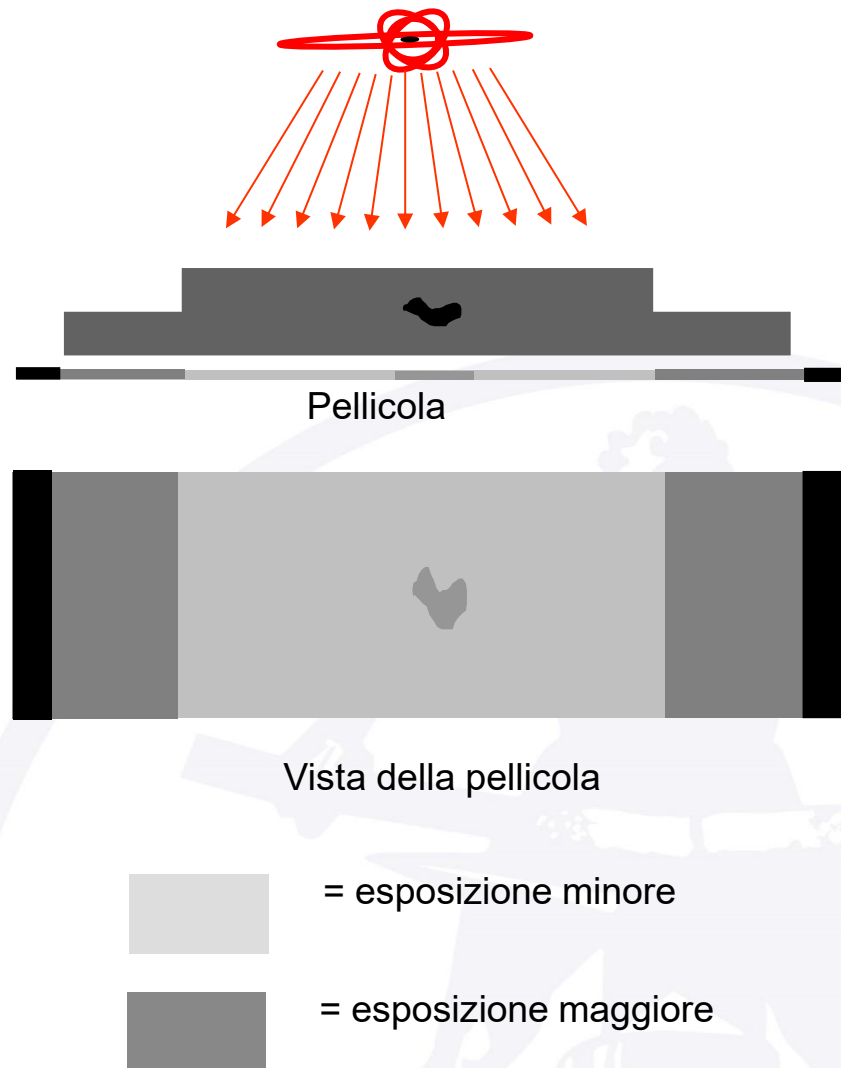
- Il metodo radiografico impiega un fascio di **radiazioni ionizzanti** dirette contro il particolare da esaminare per evidenziarne discontinuità superficiali e non
- Parte delle radiazioni sono **assorbite** dal materiale attraversato, in funzione delle proprie caratteristiche fisico – chimiche
- In corrispondenza di discontinuità, l'assorbimento è diverso e crea su un opportuno mezzo di registrazione un **contrasto** rispetto al materiale circostante
 - Nel caso delle tradizionali **pellicole**, tale contrasto è dato da differenti gradazioni di grigio
 - In alternativa alle tradizionali pellicole sono ormai comunemente utilizzati sistemi di acquisizione delle immagini di **tipo elettronico**



Esecuzione di un controllo radiografico nel settore aeronautico

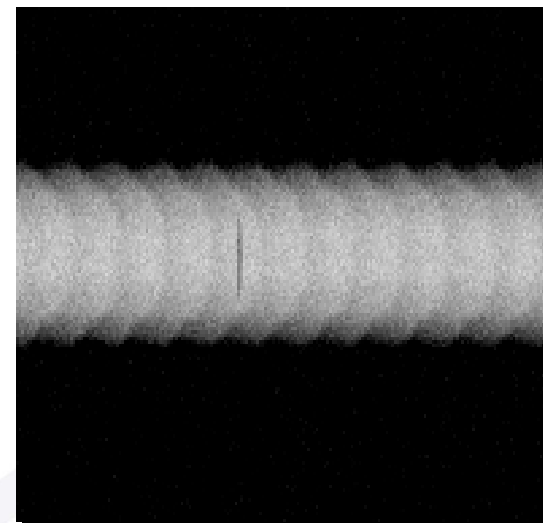
Il principio fisico del metodo

- Di norma, il **pezzo** in esame è interposto tra la sorgente e la pellicola
- Spessori maggiori, zone a maggiore densità e/o a numero atomico presentano un maggiore **assorbimento radiografico** (radiopacità)
- Sull'elemento sensibile (ad esempio, la pellicola) arriva una dose di radiazioni inversamente proporzionale all'assorbimento subito localmente
- Diverse dosi comportano una diversa risposta da parte del rilevatore: ad esempio, diversi gradi di annerimento (**densità**) della pellicola, che costituiscono **l'indicazione** da interpretare

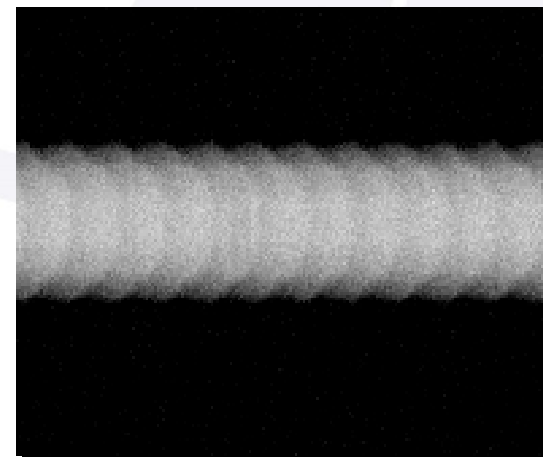


Il principio fisico: orientamento delle discontinuità

- Data la criticità dell'angolo tra la direzione dei raggi ed il piano della discontinuità è fondamentale la conoscenza della **morfologia delle discontinuità**
- Imperfezioni quali **incollature**, **mancanze di fusione** risultano certamente meno visibili di altre, data la giacitura caratteristica
- Il problema è certamente rilevante per le sole **imperfezioni bidimensionali**



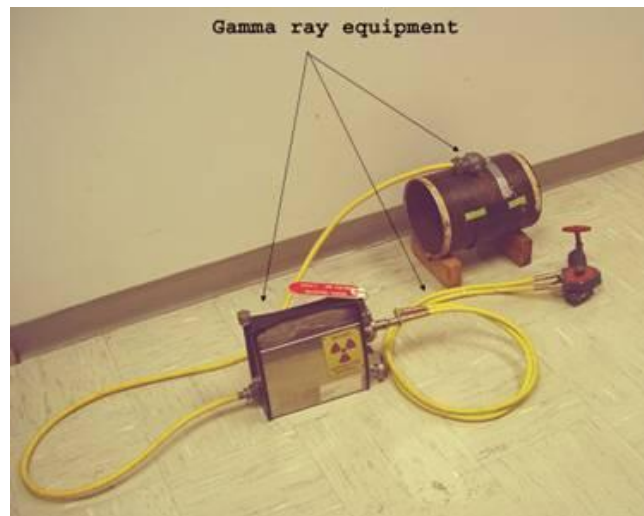
0°



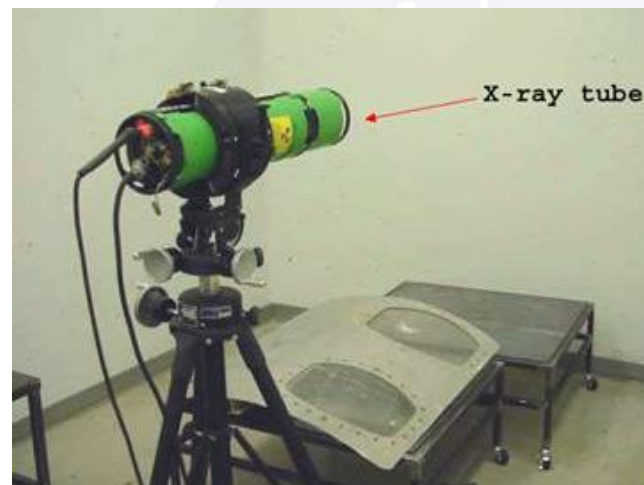
20°

Sorgenti radiogene

- Trascurando casi particolari (come le sorgenti ad alta energia) si può dire che le due tipologie di sorgente più diffuse sono certamente i **radioisotopi** (generatori di raggi gamma) e le **macchine radiogene** (per la generazione di raggi X)
 - Un **radioisotopo** è una sostanza resa radioattiva in modo artificiale (di norma, all'interno di un reattore) allo scopo di ottenere un'emissione continua di raggi gamma di energia costante ed intensità decrescente nel tempo
 - Un **tubo radiogeno** è una macchina elettrica che segue i principi di funzionamento del tubo di Coolidge (tubo catodico) ed emette raggi X di energia ed intensità regolabili dall'operatore



Sorgente gammagrafica



Tubo radiogeno

Metodi radiografici

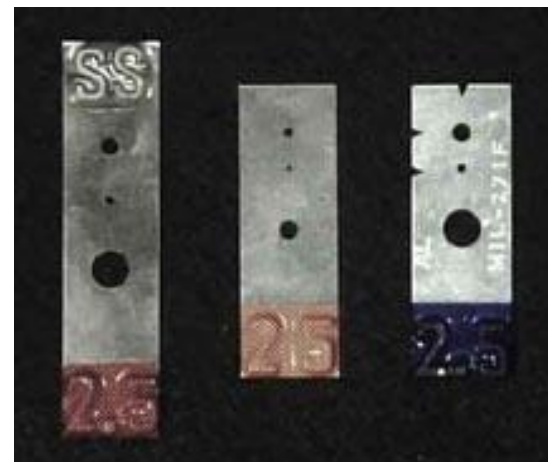
- I **metodi radiografici** maggiormente diffusi oggi sono
 - Film Radiography (detta anche radiografia convenzionale, su pellicola)
 - Digital Radiography (DR)
 - Computed Radiography (CR)
 - Real Time Radiography (RTR)
 - Computed Tomography (CT)



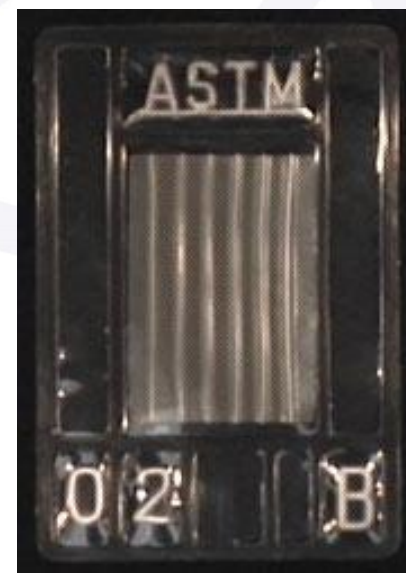
Esame radiografico

Qualità dell'immagine

- Le due **tipologie** maggiormente utilizzate sono gli indicatori
 - A fili (**wire type**), di origine tedesca (DIN 54109), recepiti anche dalla normativa europea e statunitense (ASTM)
 - A fori (**hole type**), di origine statunitense (ASTM E 1025)
- Data la diversa concezione della sensibilità convenzionale non è immediato un loro **confronto**, quando riferiti alla stessa applicazione
- Di norma, il **posizionamento** avviene quando possibile dal lato più sfavorevole (lato sorgente)



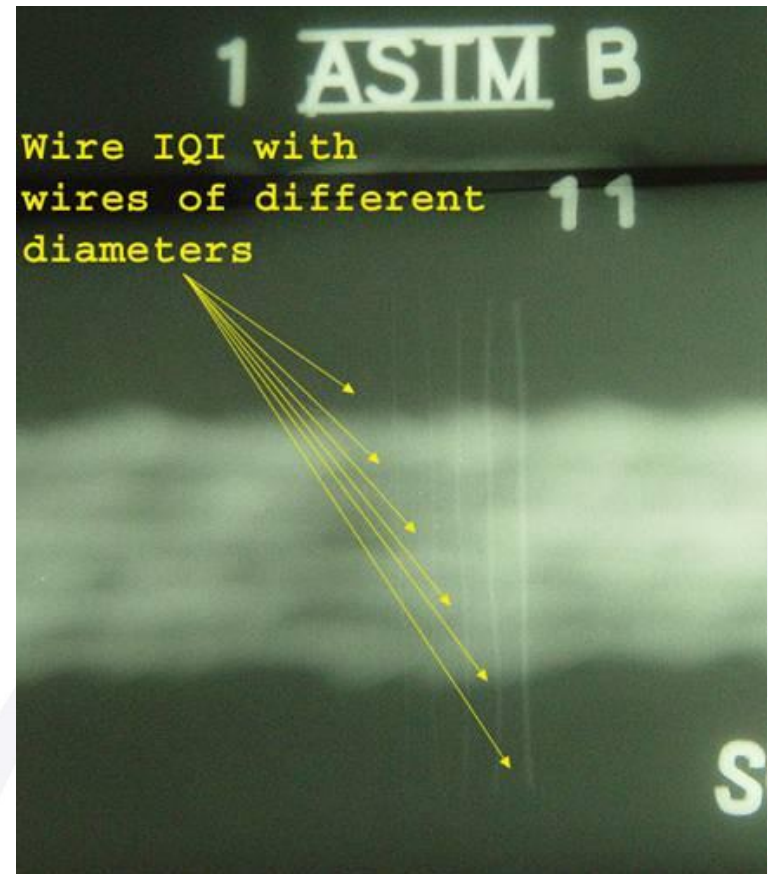
IQI hole type



IQI wire type

Qualità dell'immagine: IQI wire type

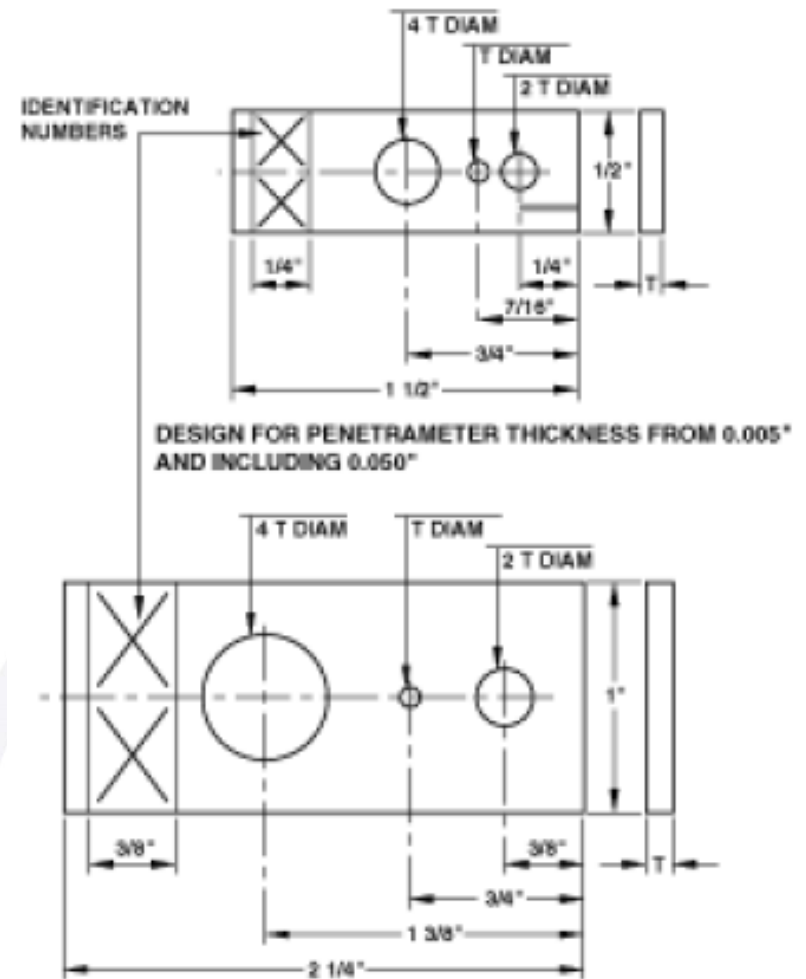
- Gli **indicatori a fili (wire type)** sono fatti di materiale avente un assorbimento radiografico equivalente al materiale da radiografare ed hanno diametri variabili in un dato range
- La **sensibilità radiografica** è data dal filo di minore diametro visibile con criteri convenzionali
- Tale sensibilità può anche essere espressa in percentuale (come rapporto tra il diametro del filo e lo spessore radiografato)
- Le serie metriche, i criteri di posizionamento e l'identificazione variano con gli **standard di riferimento**



IQI wire type

Qualità dell'immagine: IQI hole type

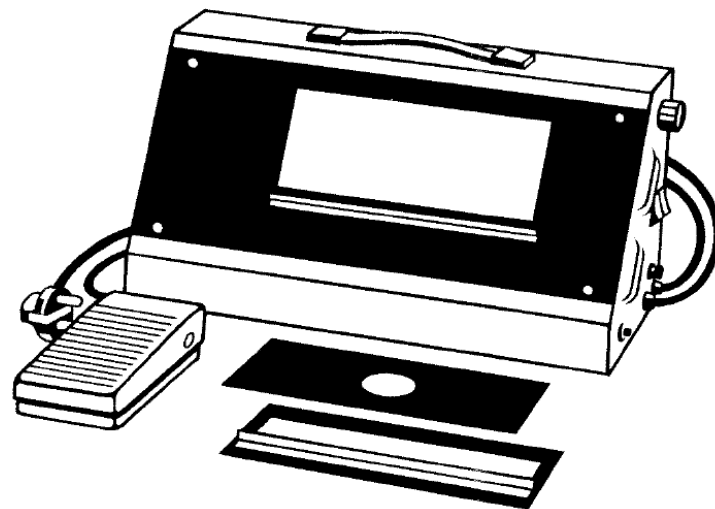
- Gli **indicatori a fori** (hole type) ASTM E 1025 sono basati su una diversa filosofia
- Essi sono piastrine di materiale avente un assorbimento radiografico equivalente a quello da radiografare e presentano **tre fori di diametro proporzionale allo spessore T** (in particolare, i fori 1T, 2T e 4T)
- La **sensibilità radiografica** è espressa da due termini
 - Il rapporto tra lo spessore T della piastrina e quello radiografato
 - Il riferimento al diametro minor tra quelli visibili
- Ad esempio: sensibilità **2-2T**



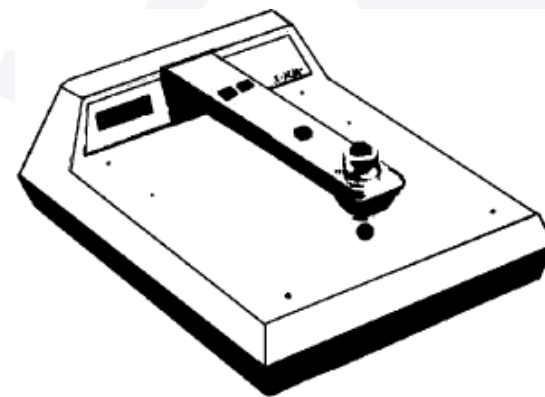
IQI hole type

Qualità dell'immagine: visori, densitometri

- Nell'ambito della lettura delle radiografie (che avviene in ambienti adeguatamente oscurati, con il necessario tempo di adattamento della vista) rivestono infine importanza anche gli strumenti utilizzati per la **verifica della densità radiografica** e per l'illuminamento della pellicola (**visori** o negatvoscopi)
 - La verifica della densità può essere svolta con strumenti quantitativi (**densitometri**) o per confronto con densità di riferimento caratterizzate (**step tablet**)
 - L'illuminamento dei film si effettua con **visori**, che devono presentare caratteristiche di luminanza, uniformità della luminanza sulla superficie, di massima temperatura prestabilite



Visore (cortesia Wilnos)



Densitometro (cortesia Wilnos)

Vantaggi dell'esame radiografico

- Tecnica applicabile a numerosissimi **materiali**
- Consente l'ispezione di componenti anche **assemblati**
- **Ridotta preparazione** delle superfici
- **Consente di rilevare** variazioni di spessore, stati di corrosione, porosità, cricche, variazioni di densità
- Possono essere rilevate **discontinuità superficiali come interne**
- Fornisce un report **permanente**



Svantaggi dell'esame radiografico

- Il metodo risulta oneroso sul piano della gestione della **sicurezza**
- **L'addestramento** degli operatori è complesso
- Il pezzo deve essere **accessibile** da entrambi i lati
- La **giacitura** della discontinuità è critica
- Non è possibile determinare la **profondità** delle discontinuità (a meno di tecniche specifiche)
- I **costi** delle attrezzature sono significativi



CONTROLLO ULTRASONORO



Introduzione

- Il controllo ultrasonoro è un metodo non distruttivo che sfrutta l'invio di onde ultrasonore all'interno del pezzo. Tale tecnica è utilizzata per eseguire misure spessimetriche ed indagini difettoscopiche.
- Il controllo è applicabile a numerosi materiali e semilavorati (laminati, fusioni, forgiati, saldature, compositi...)
- Va considerato che le proprietà acustiche dei materiali sono correlate con numerose caratteristiche



Controllo ultrasonoro

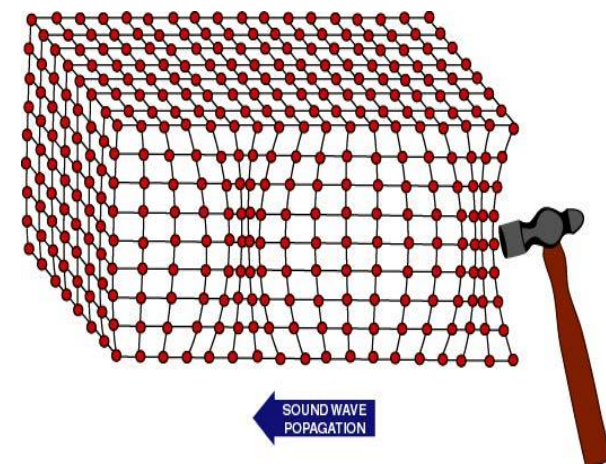


Controllo UT su calcestruzzo

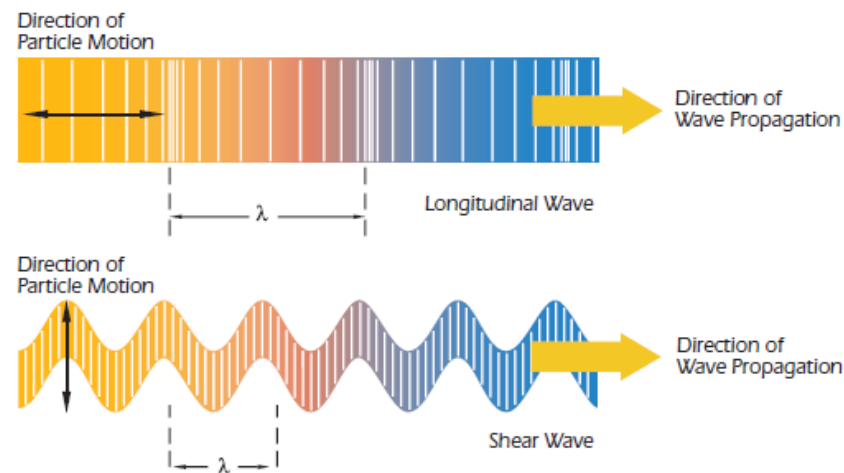


Principi fisici

- Gli ultrasuoni sono onde meccaniche che si propagano nei mezzi, non nel vuoto, in funzione delle caratteristiche meccaniche e fisiche di questi.
- Le frequenze tipiche degli ultrasuoni sono superiori a quelle udibili dall'orecchio umano (0.1-10MHz)
- Le onde ultrasonore immesse all'interno dei materiali possono avere differente proprietà (lunghezza d'onda) in base alla mutua direzione tra senso di propagazione dell'onda e direzione di oscillazione degli atomi
- Le principali onde UT utilizzate sono:
 - Onde longitudinali
 - Onde trasversali



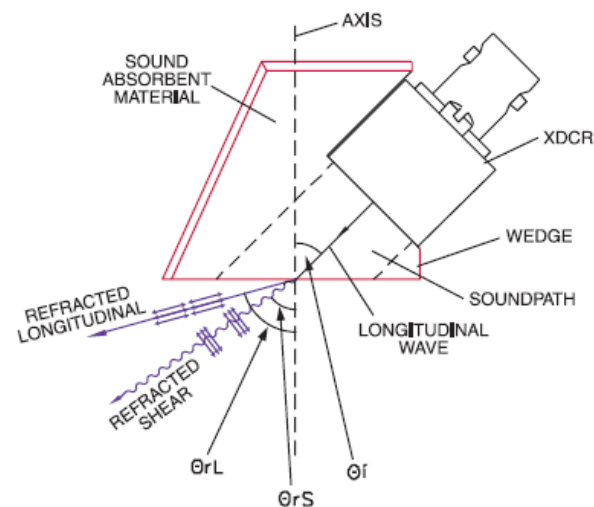
Natura degli ultrasuoni



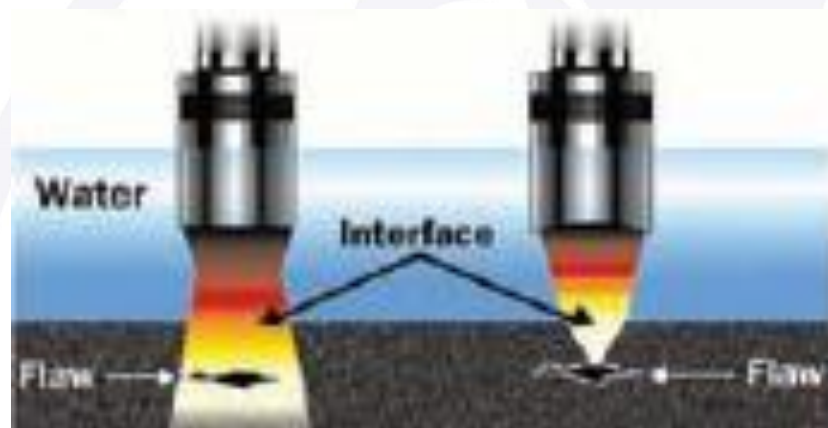
Tipi di onde ultrasonore

Principi fisici

- Come le onde luminose, anche gli US vengono riflessi, rifratti e possono essere focalizzati.
- Riflessione e rifrazione hanno luogo nel passaggio tra due mezzi di diverse caratteristiche acustiche
- La riflessione del fascio in corrispondenza di discontinuità consente la loro caratterizzazione e posizionamento
- La velocità del fascio in un dato materiale è costante e dipende solo dalla tipologia di onda



Fenomeno della rifrazione all'interfaccia tra due solidi



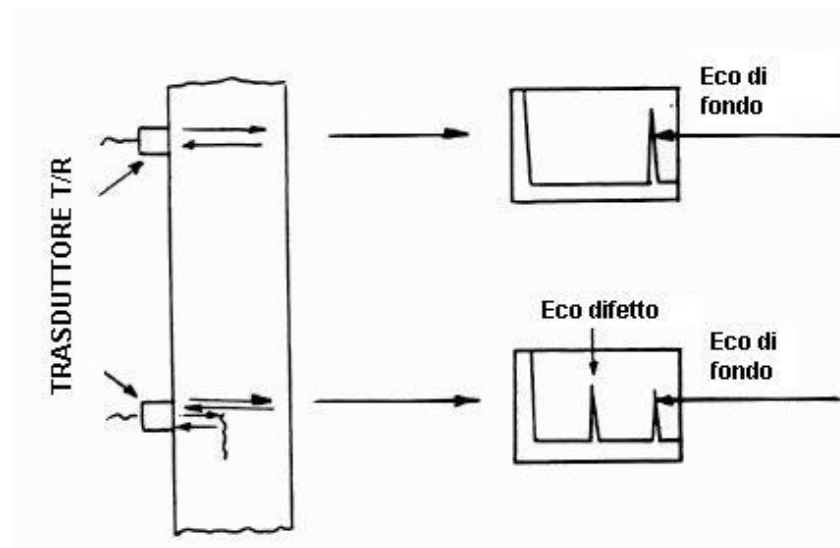
Focalizzazione del fascio ultrasonoro

Tecniche di controllo

- Le tecniche di controllo ultrasonoro classiche sono:
 - tecnica per riflessione ad impulsi: si basa sul principio che se sono presenti delle discontinuità nel pezzo esse riflettono parzialmente o totalmente il fascio ultrasonoro.
 - tecnica per trasparenza (in trasmissione o in riflessione): prevede l'impiego di un trasmettitore e di un ricevitore; la presenza di una discontinuità determina una riduzione del segnale.
- I sistemi d'esame ultrasonoro sono:
 - sistema a contatto: prevede di far scorrere la sonda sulla superficie del pezzo in esame, in seguito all'applicazione di un opportuno mezzo accoppiante
 - sistema ad immersione: prevede l'immersione del pezzo da esaminare e della sonda all'interno del mezzo accoppiante

Tecniche di controllo: pulse - echo

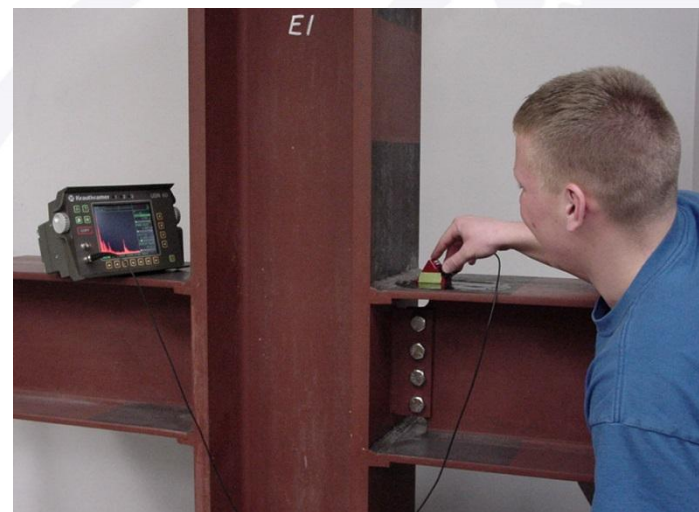
- Il controllo a riflessione di impulsi prevede l'invio di una serie di impulsi ultrasonori all'interno del materiale. Questi incontrando o la superficie di fondo o una discontinuità vengono riflessi ed il ricevitore registra tale segnale riflesso.
- La posizione dell'eco, la sua forma e la sua ampiezza permettono di caratterizzare le discontinuità presenti nel pezzo.



Principio della tecnica a riflessione di impulsi

Tecniche di controllo

- Tecnica a fascio normale:
 - Con eco singolo
 - Con echi multipli
- Tecniche a fascio inclinato:
 - A raggio diretto
 - A primo raggio riflesso
 - A n-esimo raggio riflesso
- Tecniche per impieghi speciali:
 - Onde superficiali
 - Onde di Lamb
 - Onde longitudinali angolate

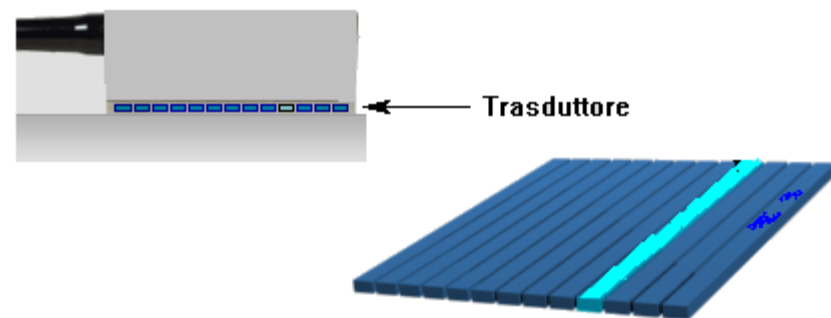


Esempi di controllo UT difettoscopico

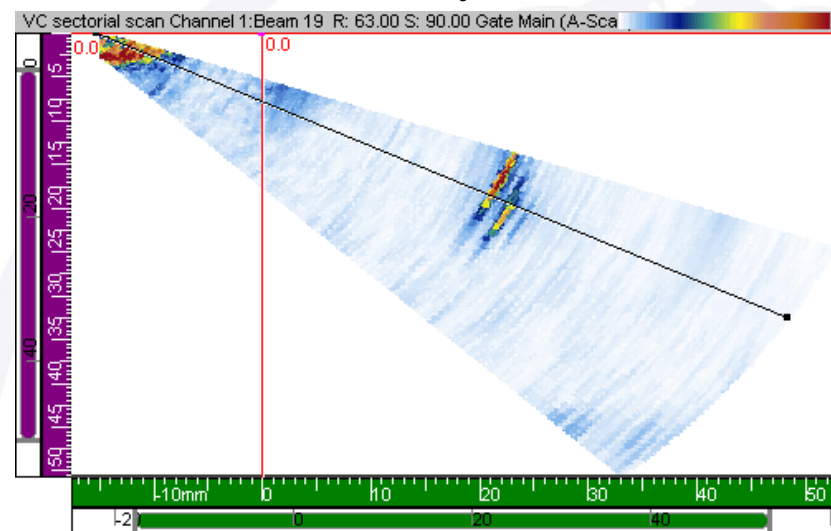


Tecniche di controllo avanzate

- Si definisce Phased Array la tecnica non distruttiva ultrasonora di nuova generazione che prevede l'utilizzo di una sonda, non più mono o bi cristallo come quelle tradizionali, ma composta da un Array, ossia una serie di elementi, attivabili simultaneamente o con determinati ritardi in modo da creare un fascio ultrasonoro di forma adeguata (ad esempio un fascio ultrasonoro con angoli compresi tra 45° e 70°)



Costituzione di una sonda Phased Array



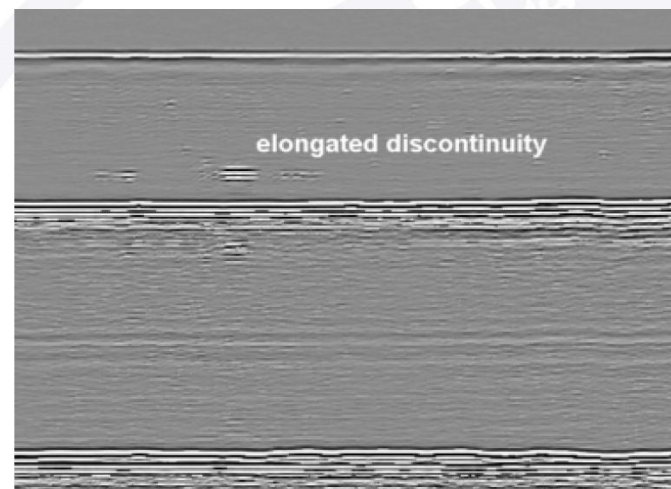
Rappresentazione Phased Array
Scan-S

Tecniche ultrasonore avanzate

- La tecnica TOFD (Time Of Flight Diffraction) è una tecnica ultrasonora innovativa per il rilevamento ed il dimensionamento di discontinuità in materiali metallici, basata sulla misura del tempo di volo delle onde difratte dagli apici di un difetto
- La tecnica TOFD prevede l'utilizzo di una coppia di sonde, un trasmettitore ed un ricevitore disposte simmetricamente rispetto alla zona da controllare



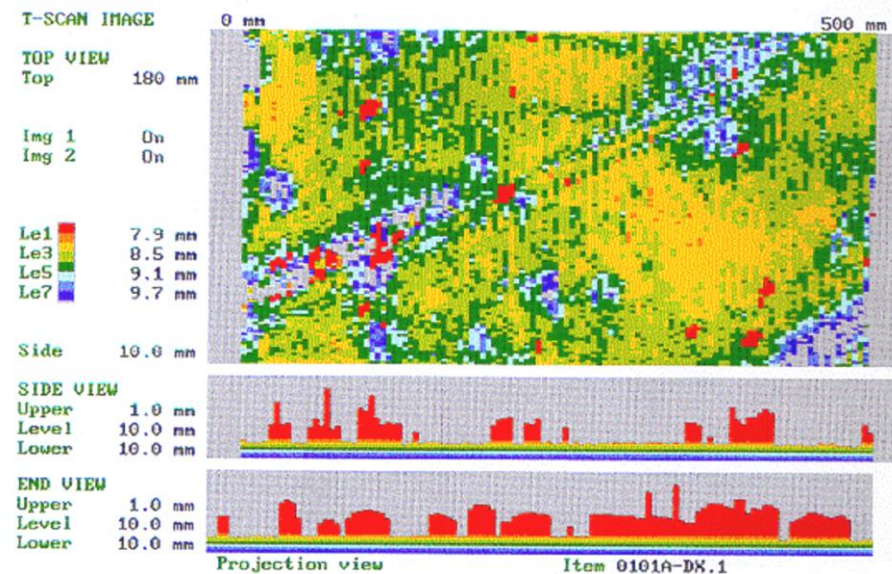
Controllo TOFD



Rappresentazione TOFD Scan-B

Presentazione dei risultati

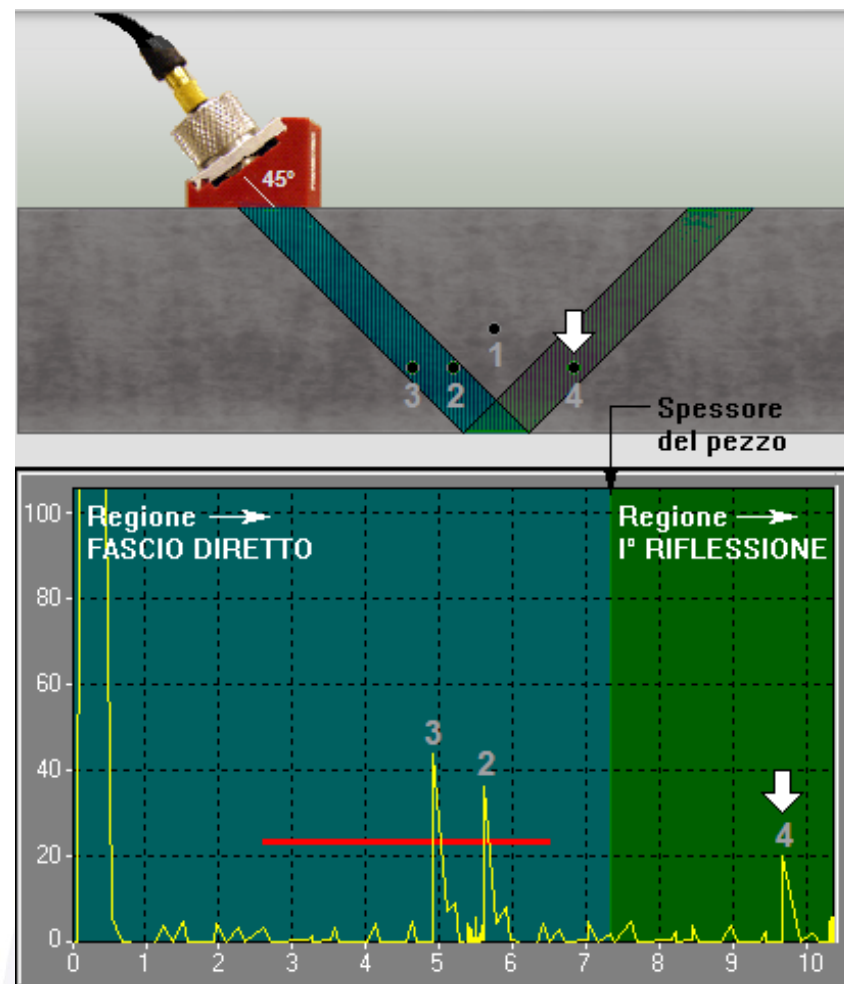
- Le informazioni sono rappresentate in varie forme
- Le possibili rappresentazioni sono:
 - A-scan
 - B-scan
 - C-scan
 - P-scan
 - T-scan
 - Rappresentazioni innovative



Esempio di Scan T

Rappresentazione Scan A

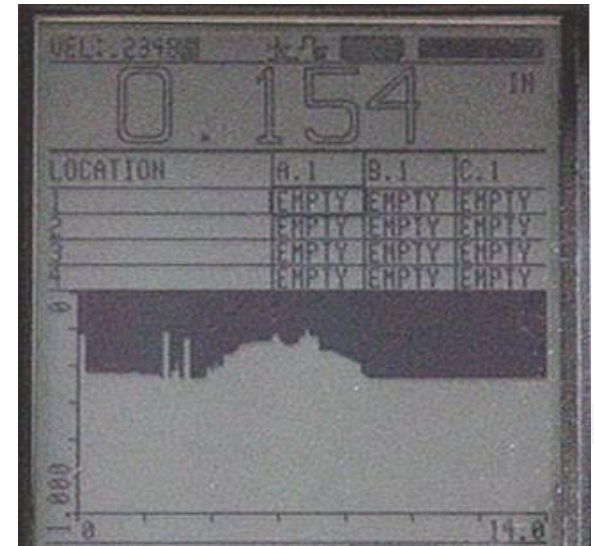
- La rappresentazione Scan-A è la più utilizzata e rappresenta il segnale sottoforma di picchi
- La posizione del picco lungo l'asse dei tempi identifica il percorso effettuato dal fascio ultrasonoro, quindi lo spessore del pezzo o la profondità del difetto
- L'altezza del picco identifica la riflettività del fondo o del difetto



Esempio di rappresentazione Scan-A

Rappresentazione Scan-B

- La rappresentazione B-Scan riporta la “visione laterale” del pezzo in esame
- In un sistema tradizionale la rappresentazione B-Scan è ottenuta codificando a singolo valore i segnali di ritorno ottenuti movimentando la sonda lungo un determinato profilo di acquisizione (utilizzo di un encoder)



Esempio di rappresentazione Scan-B

Rappresentazione Scan-C

- La rappresentazione Scan C è una rappresentazione bi-dimensionale del materiale in due direzioni di movimento della sonda lungo la superficie frontale (visione in pianta)

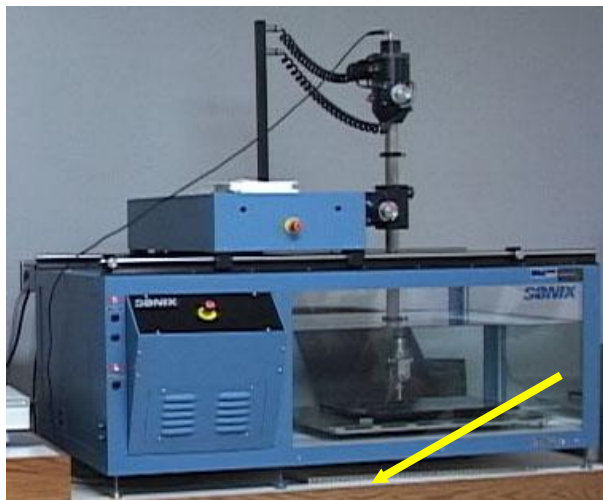
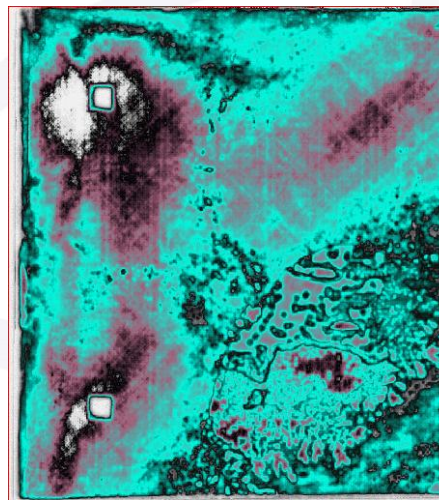


Photo of a Composite Component



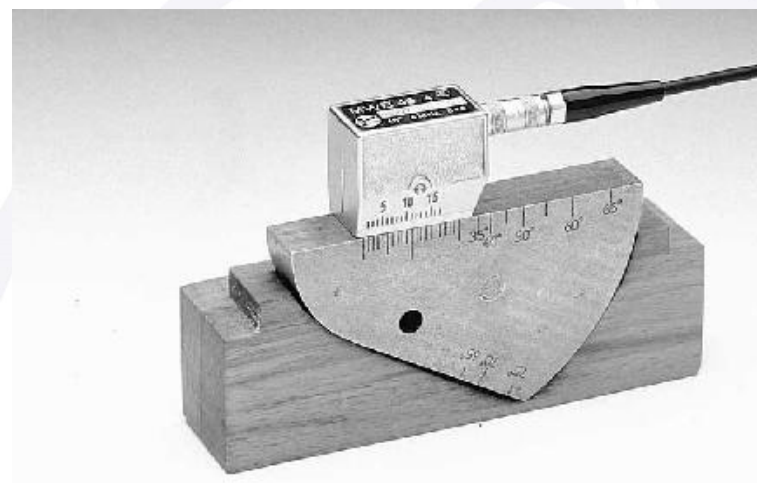
C-Scan Image of Internal Features

Apparecchiature

- Le apparecchiature sono oggi estremamente diversificate
- La loro scelta è fondamentale per risolvere la specifica esigenza
- Le componenti fondamentali sono:
 - Lo strumento
 - Le sonde
 - I blocchi campione



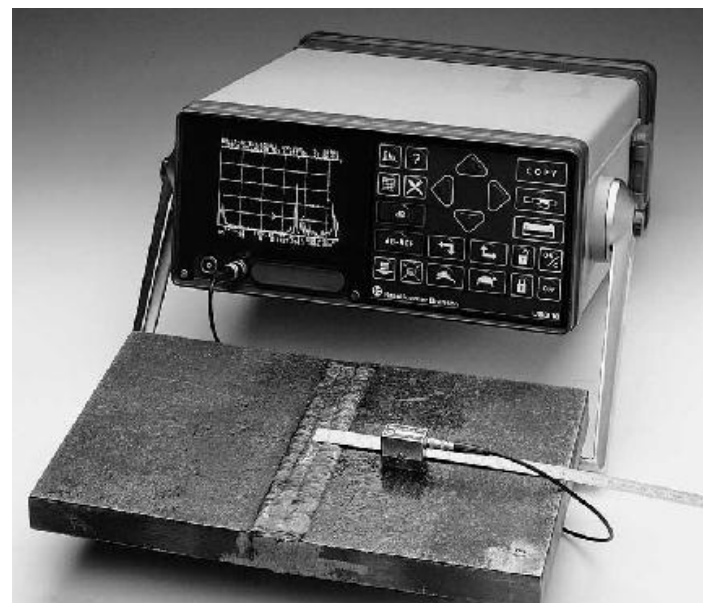
Esempi di controllo UT (cortesia GE)



Determinazione del punto di emissione con blocco campione n°2 secondo UNI EN 27963

Apparecchi ultrasonori

- Sono molti i modi per classificare gli apparecchi, oggi:
 - apparecchi portatili o impianti fissi
 - ad immersione o a contatto
 - manuali o automatizzati
 - analogici o digitali
 - spessimetri
 - apparecchi per difettoscopia
 - apparecchi ultrasonori avanzati (TOFD, Phased Array)



Apparecchio ultrasonoro analogico



Apparecchio ultrasonoro digitale

Sonde (trasduttori)

- Ne esistono di varie forme, dimensioni, frequenza e campo di applicazione
- Esistono vari criteri di classificazione:
 - a contatto or per immersione
 - a singolo o doppio cristallo
 - piane o angolate
- La frequenza, la banda passante, il diametro, la focalizzazione, l'angolo sono solo alcuni dei criteri di scelta



Esempi di trasduttori per controllo ultrasonoro (cortesia Olympus e Krautkramer)

Blocchi campione

- I blocchi campione consentono di:
 - Controllare l'apparecchiatura in modo da precisarne le caratteristiche intrinseche
 - Tarare l'apparecchio in funzione della natura e dello spessore del materiale da esaminare
 - Regolare la sensibilità e controllare che essa resti costante nel tempo
- I blocchi campione si distinguono in:
 - Blocchi di verifica e/o certificazione
 - Blocchi di taratura del fondo-scala
 - Blocchi di taratura della sensibilità



Blocco campione n°1 secondo UNI EN 12223



Blocco campione n°2 secondo UNI EN 27963

Applicazioni del controllo ultrasonoro

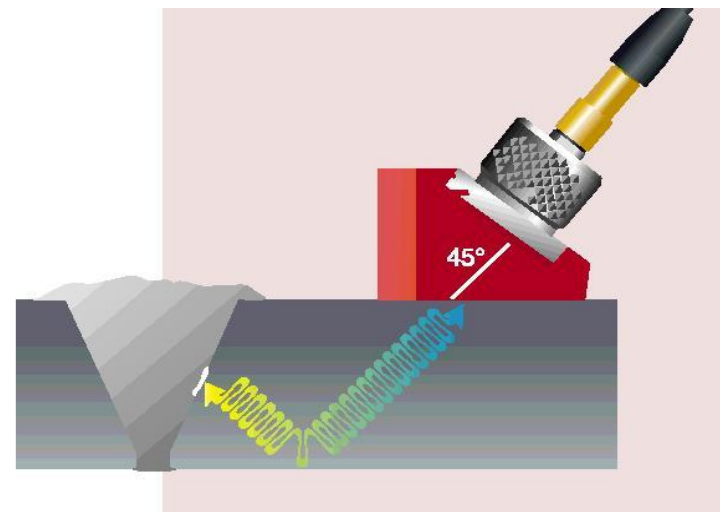
- Le sonde piane possono essere utilizzate in vari ambiti:
 - determinazione di spessori
 - controllo di laminati
 - controllo di placcati
 - controllo di getti
 - controllo di fucinati
 - controllo di riporti
 - controllo di tubi
 - verifica della corrosione



Esempi di controllo con sonde piane

Applicazioni del controllo ultrasonoro

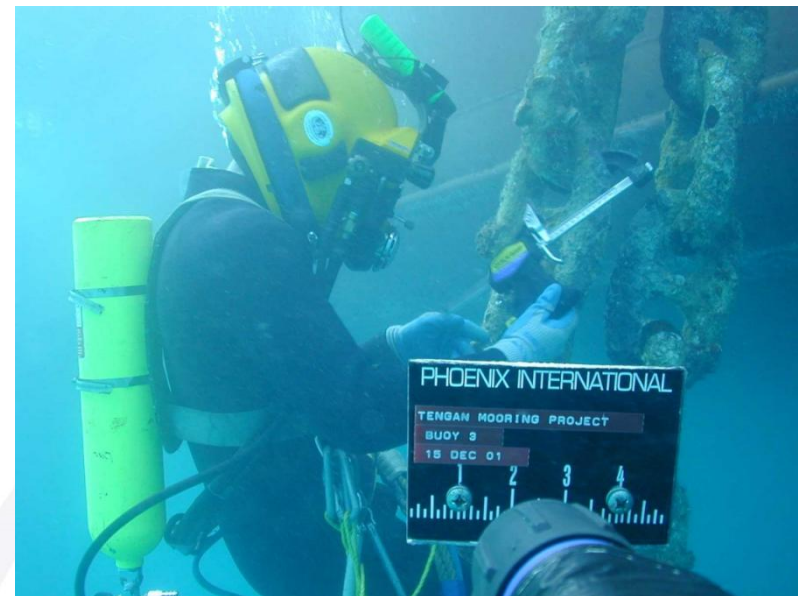
- Il controllo ultrasonoro delle saldature (sonde angolate) è il campo di applicazione del metodo che presenta le maggiori difficoltà sia per la vasta tipologia di giunti che per le numerose scelte da effettuare.
- Lo scopo del controllo è dare un giudizio di conformità o di non conformità al manufatto, tale giudizio nelle tecniche con rappresentazione Scan-A passa tramite la valutazione dell'eco o degli echi presenti sullo schermo
- Tale valutazione deve quindi tenere conto di:
 - Entità dell'eco in relazione alla riflettività del difetto
 - Morfologia dell'eco e dinamica dello schermo
 - Valutazione attraverso l'eco delle dimensioni del difetto



Principio del controllo di saldature con sonde angolate

Vantaggi

- Possibilità di rilevare difetti superficiali ed interni.
- Possibilità di controllare spessori notevoli.
- Possibilità di eseguire controlli con accessibilità da un solo lato.
- Capacità di dimensionare e posizionare la discontinuità.
- Ridotta preparazione dei pezzi.
- Risultati in tempo reale.
- Rappresentazioni bidimensionali e tridimensionali molto significative.
- Applicazioni spessimetriche.



Esempio di controllo ultrasonoro subacqueo

Svantaggi

- Accessibilità diretta della superficie.
- Addestramento ed esperienza del personale.
- Impiego di mezzi di accoppiamento.
- Materiali rugosi, di forma irregolare, molto sottili o disomogenei possono essere difficili da ispezionare
- Difficoltà nel controllo di materiali a grano grosso o struttura austenitica.
- Importanza nella giacitura del difetto.
- Complessità delle tarature preliminari.



Esempio di controllo automatizzato
nel settore aeronautico

Verbale di Prova (Spessimetria)

VERBALE DI PROVA / REPORT RILIEVO SPESSORI CON ULTRASUONI ULTRASONIC THICKNESS MEASUREMENT							 - TT - Pag. / Sheet Rev. Rev.		
Oggetto: <i>Object:</i>								Comm.: <i>job:</i>		
Cliente: <i>Customer:</i>				Costruttore: <i>Manufacturer:</i>			Disegno: <i>Drawing:</i>			
CONDIZIONI D'ESAME / TEST CONDITIONS										
Norma di riferimento: <i>Reference standard:</i>						Procedura di controllo: <i>Test procedure:</i>				
Superficie d'esame: () <i>Esterna</i> () <i>Interna</i> <i>Test surface:</i> <i>External</i> <i>Internal</i>						Condizioni superficiali: <i>Surface finish:</i>			T (°C): <i>T (°C):</i>	
ATTREZZATURA / EQUIPMENT										
Apparecchio ad ultrasuoni: <i>Ultrasonic tester:</i>						N° <i>n°</i>		Costruttore: <i>Producer:</i>		
Sonda: <i>Probe:</i>		N° <i>n°</i>		Costruttore: <i>Producer:</i>			Dimensioni (mm): <i>Sizes (mm):</i>			
				Frequenza (Mhz): <i>Frequency (MHz):</i>						
RISULTATI DEL CONTROLLO / TEST RESULTS										
Posizione <i>Position</i>	Spess. nom. <i>Nom. thick.</i> (mm)	Valori rilevati <i>Detected values</i>								Riduz. max <i>Max reduction</i> (mm)
N.B.: Schema particolari esaminati allegato / Examined details sketch annex:										
Luoogo <i>Place</i>			Data <i>Date</i>		Addetto alla prova <i>Inspector</i>			Firma <i>Signature</i>		

Verbale di Prova (Difettoscopia)

Amplificazione d'esame: <i>Scanning gain setting:</i>		Mezzo di accoppiamento: <i>Couplant:</i>	
TARATURA / CALIBRATION			
Taratura asse dei tempi: <i>Time base calibration:</i>		Blocco campione: <i>Calibration block:</i>	N° <i>n°</i>
Taratura sensibilità: <i>Sensitivity calibration:</i>			
Blocco campione: <i>Reference block:</i>	Materiale: <i>Material:</i>	Spessore (mm): <i>Thickness (mm):</i>	N° <i>n°</i>
Tipo riflettori: <i>Reflectors type:</i>		Dimensioni (mm): <i>Sizes (mm):</i>	
Esito: () Accettabile () Non accettabile <i>Result: Acceptable Non acceptable</i>		Note: <i>Remarks:</i>	
N.B.: Schema particolari esaminati allegato / <i>Examined details sketch annex:</i>			

Analisi mediante repliche metallografiche per la valutazione della frazione di vita consumata



Repliche metallografiche: introduzione

- Indagine di tipo non distruttivo
- Preparazione della superficie dei componenti in esame
- Prelievo di un “calco” della superficie metallica
- Osservazione al microscopio ottico in campo o in laboratorio



Repliche metallografiche: introduzione

- L'indagine metallografica mediante replica morfologica, si distingue dal comune esame metallografico in quanto esso viene eseguito direttamente sul componente oggetto d'indagine, senza effettuare sezioni o asportazione di materiale metallico.
- Tale differenza determina la possibilità di lasciare inalterato il materiale dopo il controllo eseguito; ciò comporta notevoli vantaggi sulla conservazione del materiale stesso, evitando così eventuali opere di ripristino e/o riparazione del componente indagato.
- Il prelievo della replica può essere eseguito durante le normali fermate di impianto atte ai controlli dei componenti destinati all'esercizio alle alte temperature.



Preparazione della superficie dei componenti in esame

- La preparazione della superficie da esaminare assume un ruolo determinante ai fini del buon esito dell'esame.

Essa deve avere caratteristiche tipiche di un provino metallografico:

- lucidatura a specchio della superficie priva di rigature e/o alterazioni causate dalla scarsa pulizia;
- attacco metallografico adeguato al tipo di materiale esaminato.



Principali tipologie di attacco metallografico

Gli attacchi metallografici utilizzati devono essere relativi al materiale che viene indagato. Esso pertanto ha il compito di evidenziare le caratteristiche microstrutturali del materiale.

ACCIAIO AL CARBONIO

ACCIAIO NON LEGATO

ACCIAIO BASSOLEGATO

- **NITAL:** HNO_3 (2%) + ALCOOL (98%)

Viene usato per attacchi acciai debolmente legati con struttura ferritico perlitica

- **VILELLA:** 1 g ACIDO PICRICO (4%) + 100 cl ALCOOL + 5 cl HCL

Viene usato per attacchi di materiali basso legati con struttura martensitica



Acciai inossidabili e leghe di nichel

All'aumentare del contenuto di elementi di lega nel materiale, occorre usare attacchi metallografici sempre più aggressivi: l'acciaio inossidabile e le leghe di nichel hanno un'elevata resistenza agli attacchi corrosivi; è quindi necessario adoperare reagenti più aggressivi e selettivi

Gli attacchi utilizzati in campo sono di tipo chimico

- Marble
- Kalling

.... e di tipo elettrolitico :

- soluzione di acido ossalico



Prelievo della replica metallografica

- Dopo avere preparato la superficie da esaminare, è necessario prelevare il calco della superficie stessa in modo da potere osservare la struttura metallografica del materiale. Questa operazione può essere eseguita sia tramite pellicole in triacetato di cellulosa, sia con pellicole con supporto metallico (transcopy) o con resine polimerizzanti.
- Ciascuno dei metodi sopra descritti deve garantire una buona definizione e risoluzione dell'immagine che deve essere osservata al microscopio ad un ingrandimento fino a 500x.
- Il sistema più usato è quello mediante pellicole in triacetato che garantisce una buona risoluzione e praticità d'uso. Essa viene applicata sulla superficie dopo aver inumidito la parte metallica con acetone; la pellicola così può aderire perfettamente sulla superficie conservando il calco della microstruttura del materiale indagato.
- Dopo un tempo sufficiente affinché evapori completamente l'acetone e la pellicola sia completamente asciutta (circa 5 minuti), essa potrà essere prelevata ed osservata mediante microscopio.

Repliche metallografiche

E' buona norma associare al prelievo delle repliche un controllo della durezza del materiale in tutte le sue parti caratteristiche (materiale base, zona fusa e zona termicamente alterata).



Microdurometro portatile Krautkramer MIC 10

Osservazione al microscopio ottico in campo o in laboratorio

- La replica prelevata deve essere osservata al microscopio ottico metallografico al fine di definire in prima analisi la caratteristica metallografica del materiale oggetto d'indagine.
- L'osservazione della replica è resa difficoltosa da due fattori: la planarità del campione e la sua riflessione.
- La planarità del campione è necessaria in quanto il potere di ingrandimento dell'immagine offerto dai microscopi ottici, deve essere supportato da una sufficiente profondità di campo che, ad alto ingrandimento, si riduce a pochi centesimi di millimetro. La replica, quindi, deve essere applicata sopra un supporto rigido e sufficientemente piano.
- La riflettività del campione è necessaria per potere osservare compiutamente tutte le caratteristiche metallografiche mostrate dalla replica; una replica di tipo trasparente può causare la trasmissione della fonte di luce su di essa proiettata e diminuire così la definizione e il contrasto dell'immagine microstrutturale. In questo caso si effettua una metallizzazione superficiale della replica atta a garantire una migliore osservazione del campione anche ad ingrandimenti superiori.



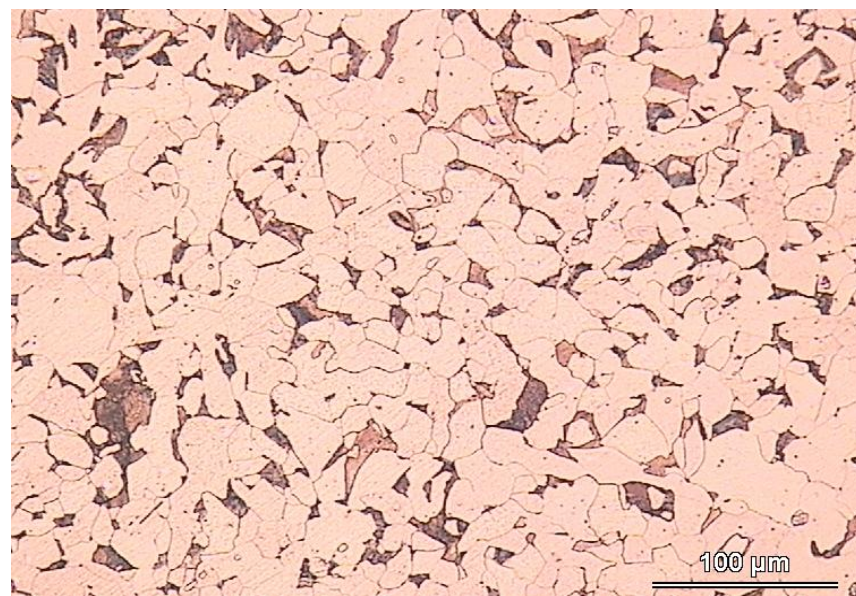
Osservazione della replica metallografica

- La replica può essere osservata mediante microscopio ottico a riflessione e microscopio elettronico a scansione.
- Al microscopio ottico si osserva la microstruttura del campione in tutte le sue parti sino ad ingrandimenti intorno ai 1000x.
Esso garantisce un'ottima definizione dell'immagine e velocità d'esame.
- Il microscopio elettronico a scansione viene utilizzato nei casi in cui è necessario distinguere l'eventuale presenza di microvuoti isolati. Esso garantisce un'alta risoluzione e definizione dell'immagine associata ad un'elevata profondità di campo, ma non è altrettanto pratico e veloce come il microscopio ottico.

Strutture metallografiche

Nel caso del calcolo della vita residua dei componenti, si considera l'evoluzione che la microstruttura del materiale subisce durante l'esercizio ad alte temperature.

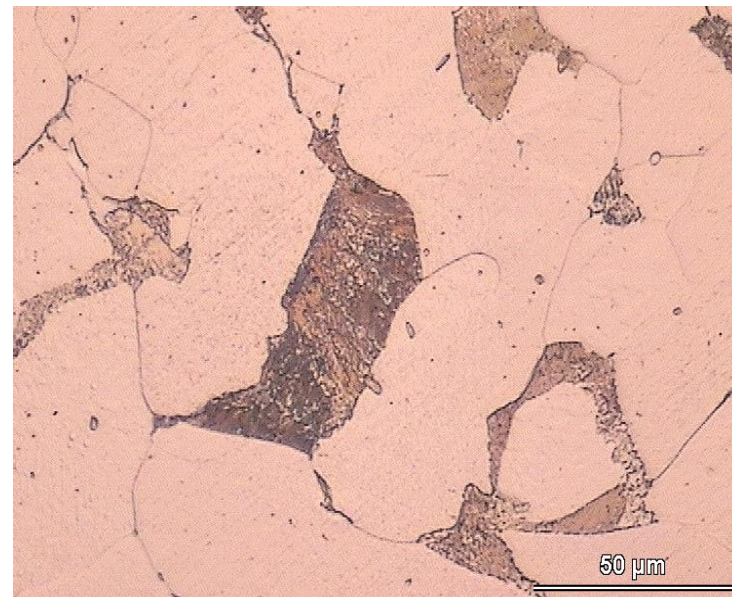
Una parte fondamentale viene assunta dal materiale base dell'acciaio, quando esso è fornito allo stato ricotto o normalizzato; nel caso degli acciai al carbonio, il materiale stesso presenta generalmente una composizione microstrutturale di tipo ferritico con perlite lamellare.



Struttura ferritica con isole di perlite lamellare

Strutture metallografiche

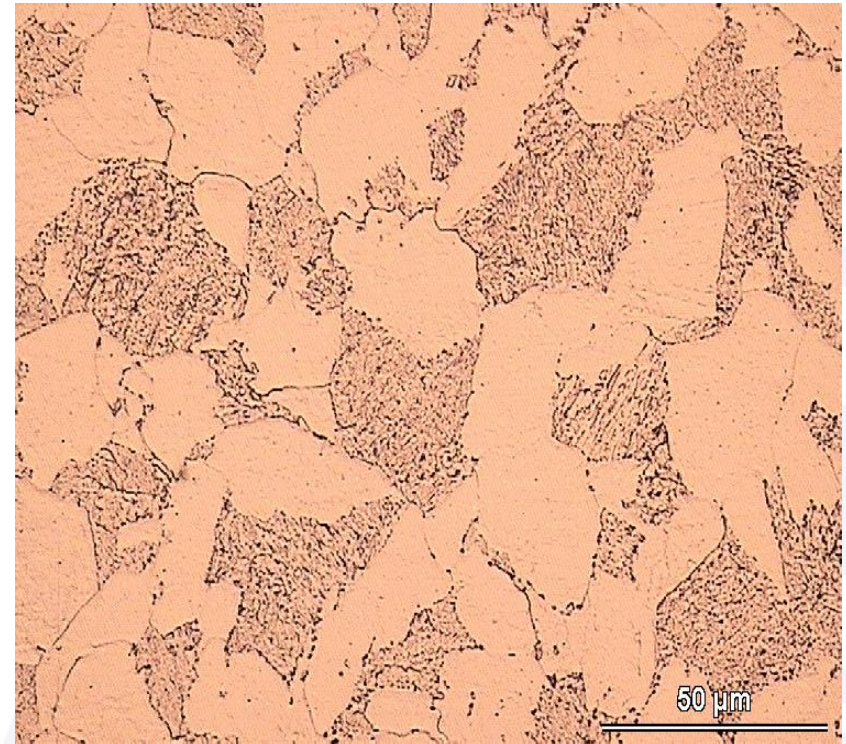
Negli acciai basso legati allo stato normalizzato o ricotto, è presente, normalmente, una struttura ferritica con isole di perlite lamellare; questo stato metallurgico è destinato a mutare se il materiale viene sottoposto per lungo tempo all'esposizione alle alte temperature. La modifica dello stato microstrutturale è considerato un degrado metallurgico da cui si può definire il grado di danneggiamento.



Isole di perlite lamellare

Strutture metallografiche

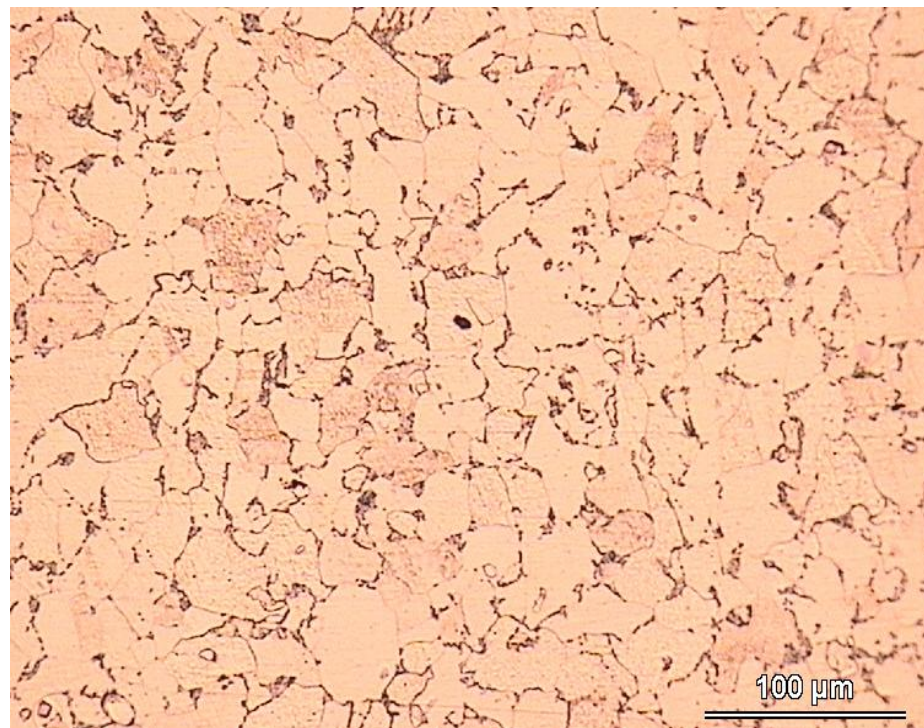
Il primo grado di trasformazione si manifesta con la globulizzazione della perlite lamellare. La struttura si presenta con grani di ferrite in cui sono presenti delle particelle globulari derivate dalla trasformazione della perlite lamellare.



Isole di perlite globulizzata

Strutture metallografiche

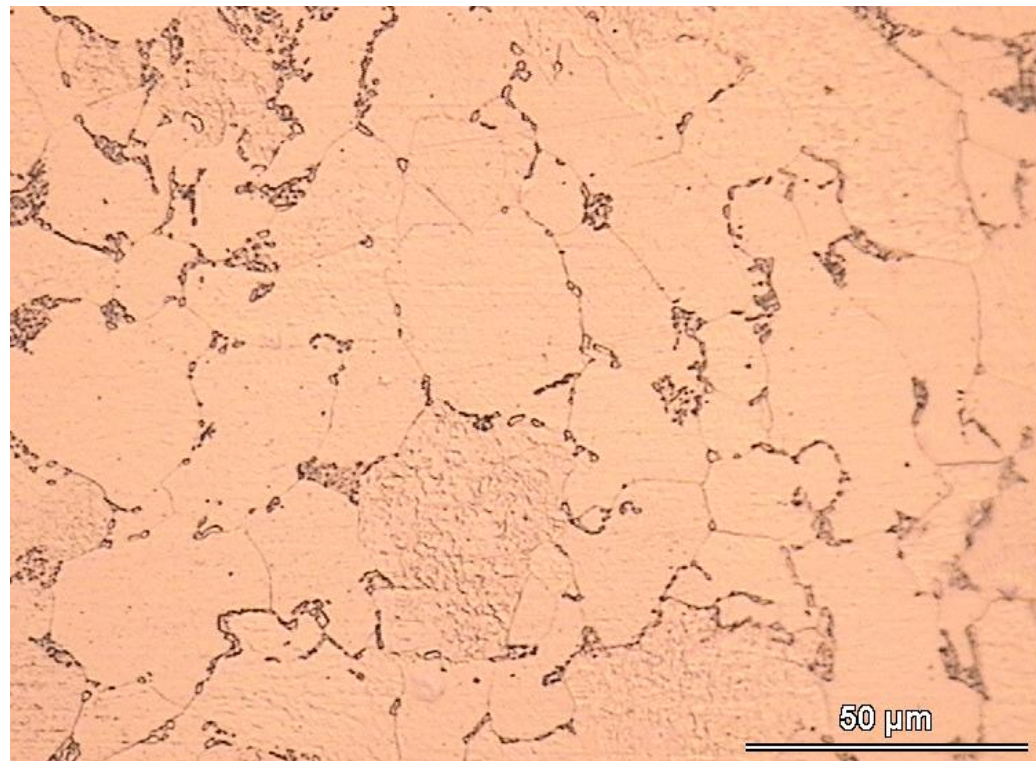
La successiva evoluzione di danneggiamento microstrutturale, mostra una mancanza di separazione tra le diverse fasi; ovvero non si notano più le isole di perlite o i grani che le contenevano, ma vi è una struttura completamente ferritica con carburi (derivanti dalla dissoluzione della stessa perlite) precipitati al bordo del grano.



Struttura ferritica con carburi precipitati a bordo grano

Strutture metallografiche

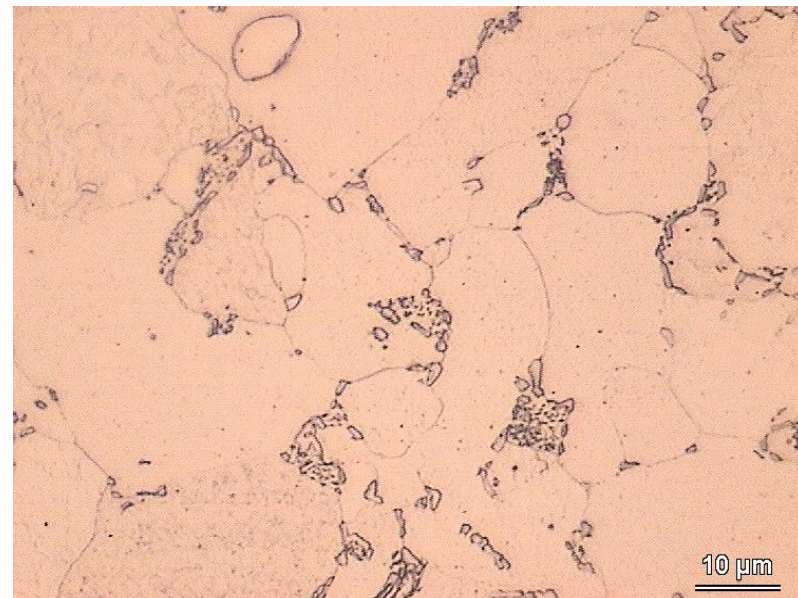
La precipitazione dei carburi derivati dalla dissoluzione della perlite, porta ad avere la formazione di numerose particelle poste al bordo del grano ferritico.



Struttura ferritica con carburi precipitati a bordo grano

Strutture metallografiche

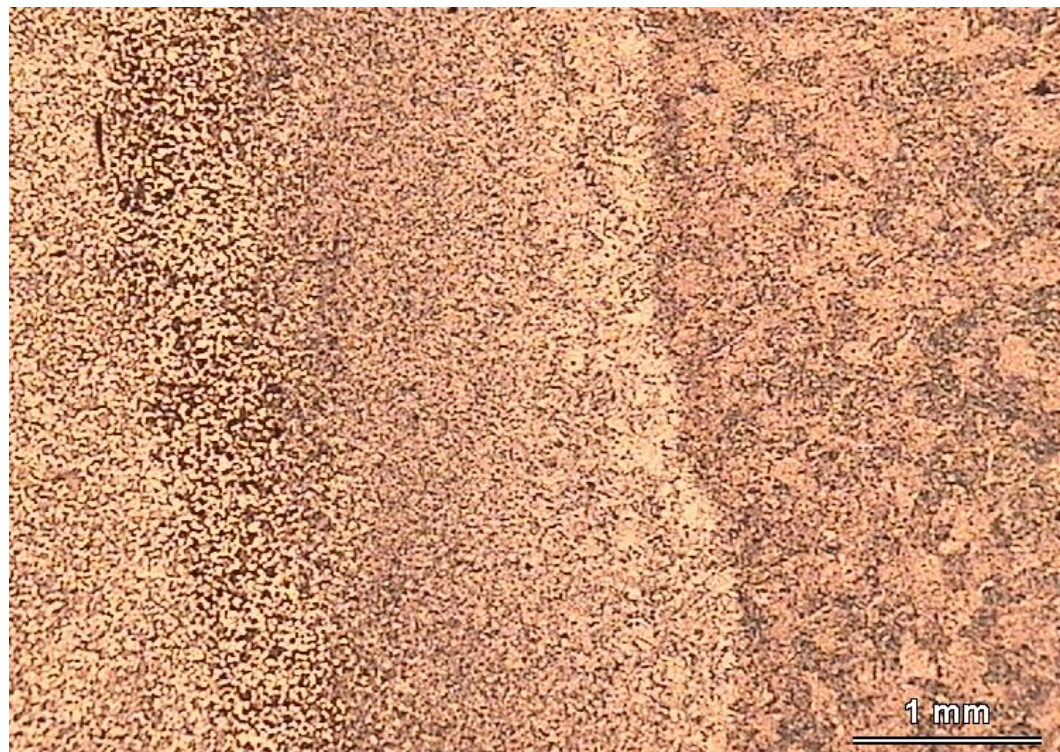
Con l'ulteriore esposizione del materiale alle alte temperature di esercizio, i carburi precipitati al bordo del grano ferritico formano coalescenza tra loro; all'osservazione al microscopio si nota una maggiore dimensione dei carburi.



Fenomeno di coalescenza dei carburi precipitati al bordo del grano ferritico

Strutture metallografiche

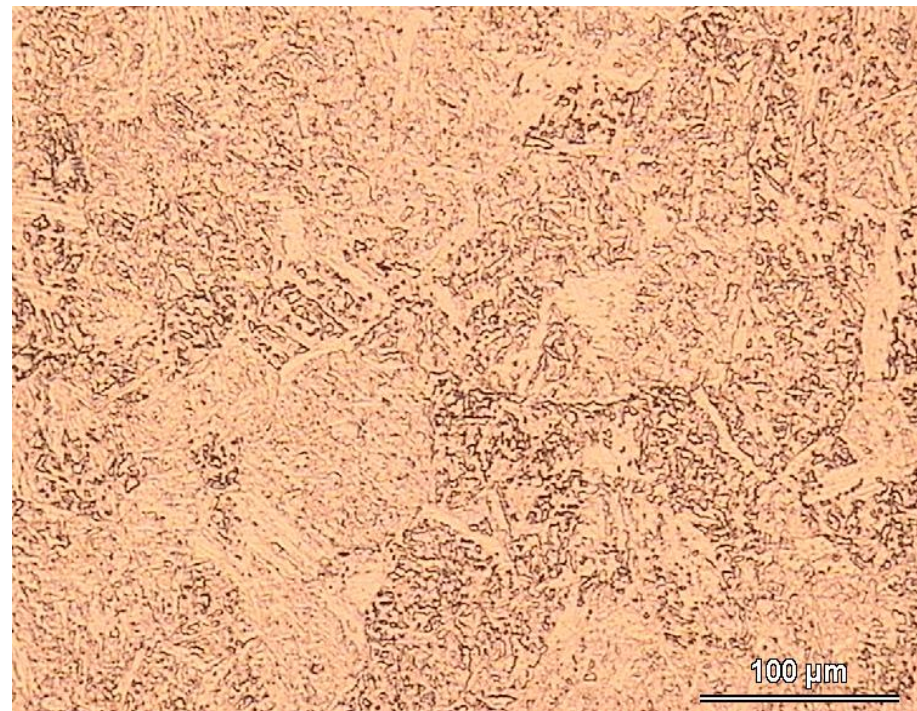
Nel caso in cui si esegua una replica in corrispondenza di una saldatura, è indispensabile l'osservazione della microstruttura presente in zona fusa e, soprattutto, in zona termicamente alterata.



Zona termicamente alterata e zona fusa

Strutture metallografiche

La zona fusa mostra una struttura caratterizzata dalle dendriti di solidificazione in cui sono presenti grani di ferrite e carburi dispersi uniformemente nella matrice.

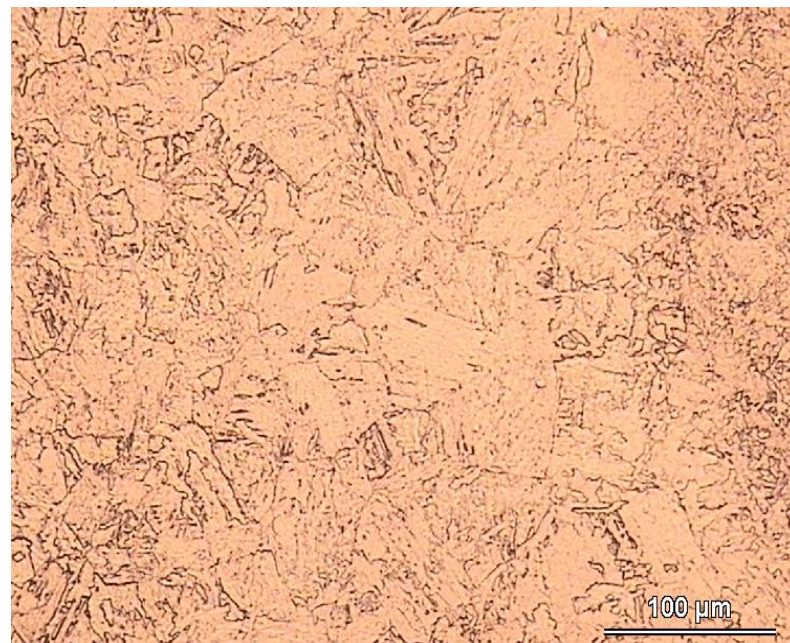


Zona fusa: struttura dendritica formata da ferrite e carburi uniformemente dispersi

Strutture metallografiche

La zona termicamente alterata a grano ingrossato è la parte più critica del giunto saldato.

In essa, infatti, è presente una struttura derivata dalla trasformazione, allo stato solido, del materiale base; tale trasformazione avviene ad alta temperatura prossima alla fusione del metallo, pertanto in tale zona è sempre presente una struttura fuori equilibrio a grano ingrossato.

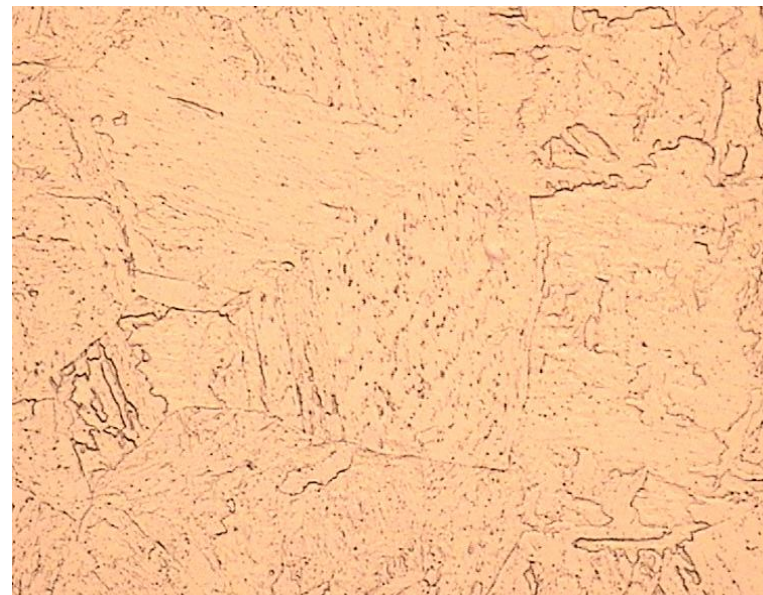


Zona termicamente alterata a grano ingrossato

Strutture metallografiche

Lo scorrimento viscoso a caldo può provocare dei danneggiamenti irreversibili in zona termicamente alterata, con maggiore probabilità rispetto alle altre zone caratteristiche del giunto saldato e dello stesso materiale base.

L'osservazione di questa zona deve essere molto accurata per evidenziare l'eventuale presenza di segni di danneggiamento da *creep*.

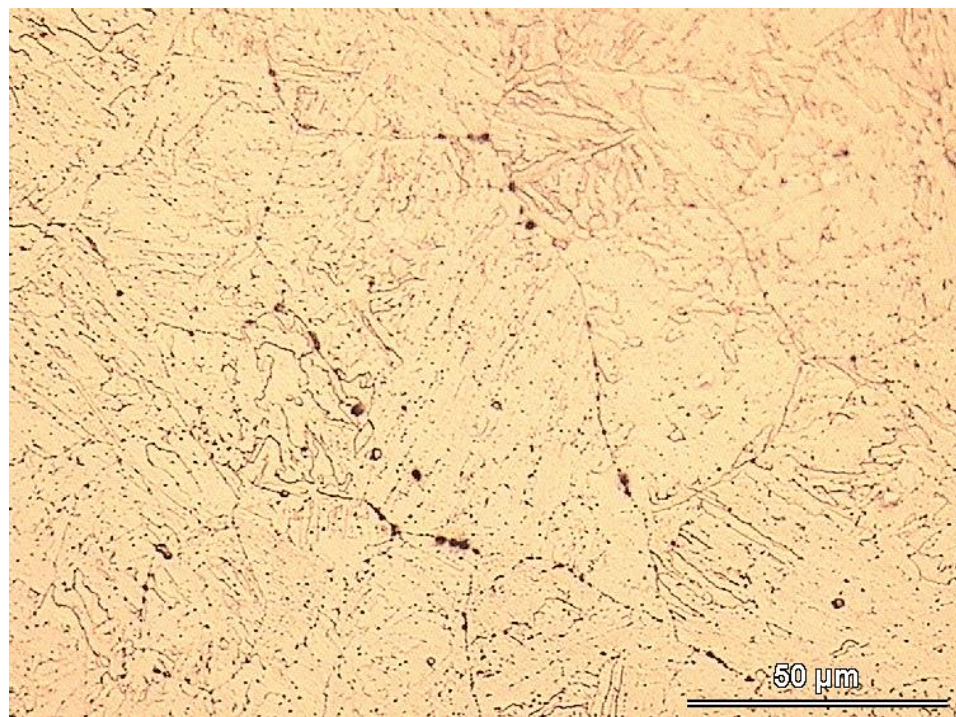


Zona termicamente alterata a grano ingrossato: struttura ferritica con carburi dispersi e precipitati a bordo grano

Strutture metallografiche

Il danneggiamento da *creep* si manifesta con la presenza di microvuoti presenti al bordo dei grani microstrutturali.

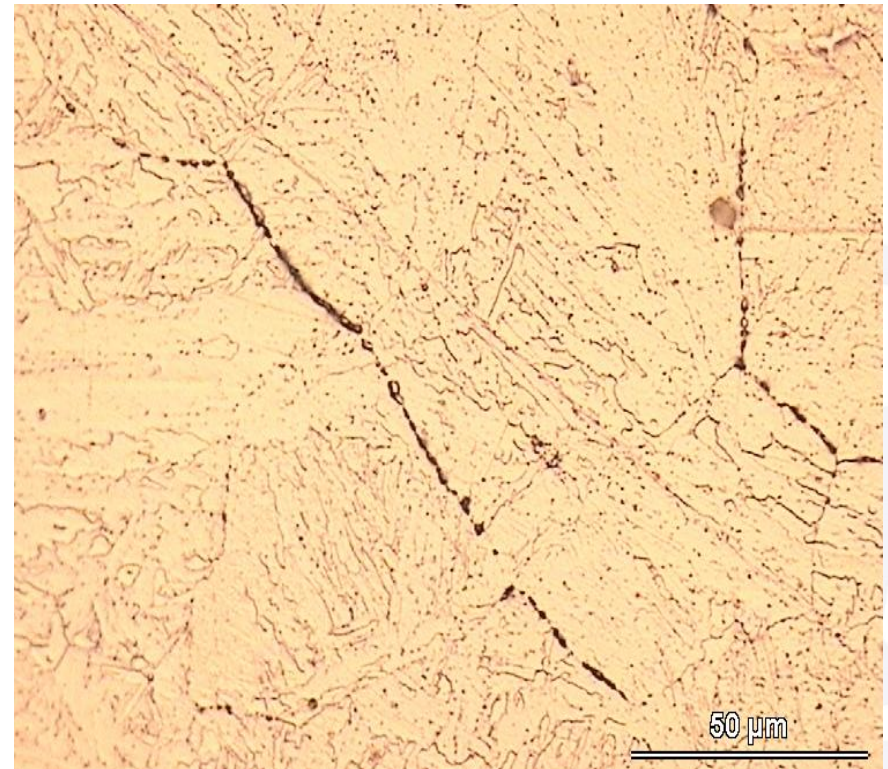
All'osservazione al microscopio ottico i microvuoti si rivelano come delle piccole macchie scure di forma tondeggiante; le loro ridotte dimensioni obbligano all'uso di obbiettivi ad alto ingrandimento per potere essere rilevate.



**Zona termicamente alterata a grano ingrossato:
microvuoti posti al bordo del grano ferritico**

Strutture metallografiche

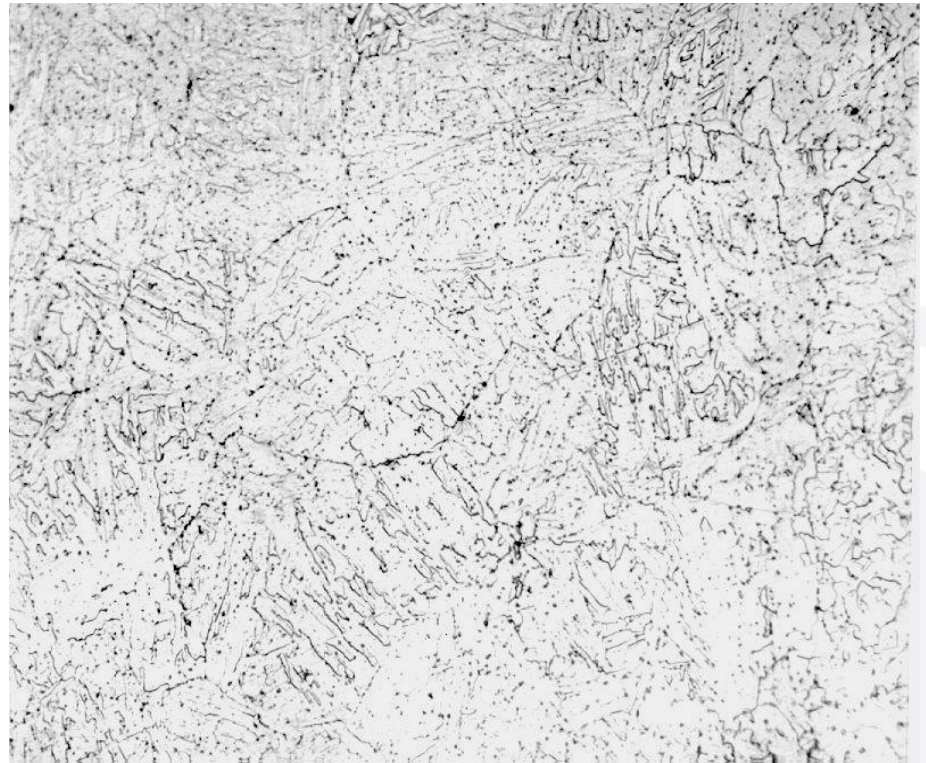
L'ulteriore danneggiamento del materiale porta alla formazione di microcricche provocate dalla presenza di microvuoti concatenati al bordo del grano.



**Zona termicamente alterata a grano ingrossato:
microvuoti allineati posti al bordo del grano
ferritico**

Strutture metallografiche

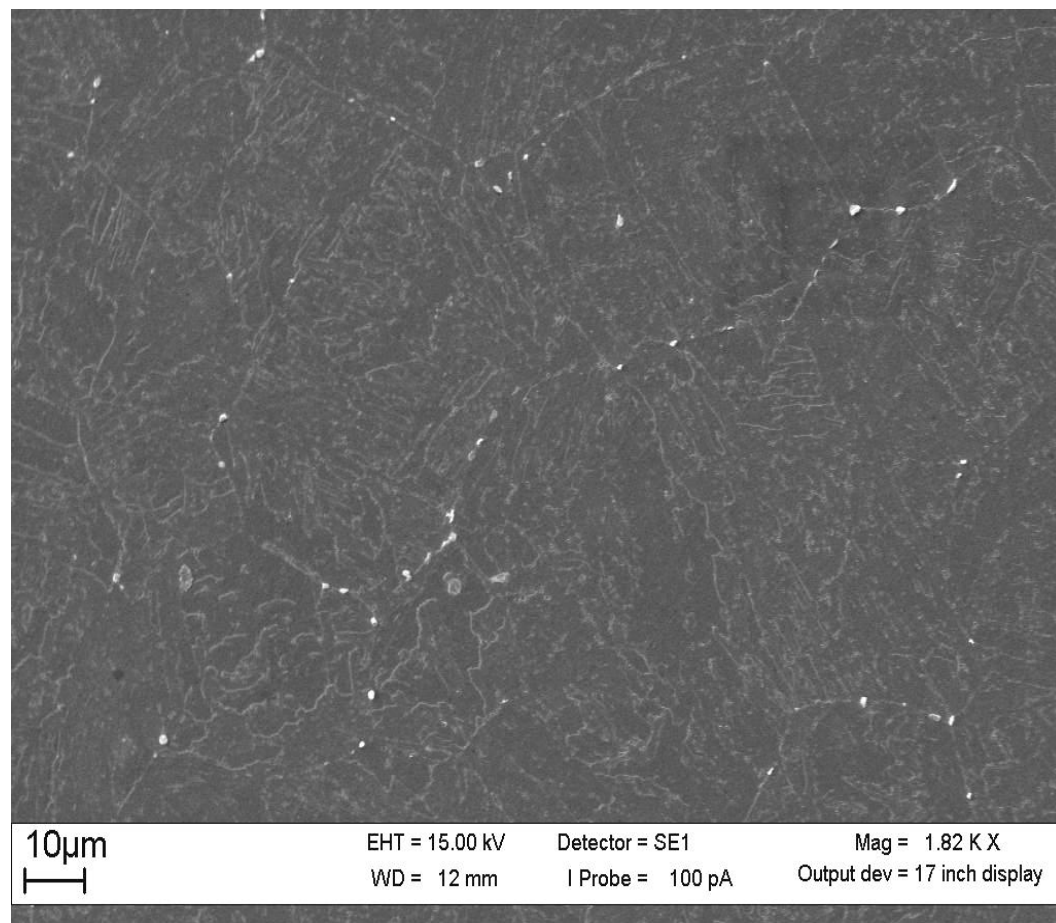
I microvuoti per la loro forma e dimensione possono essere confusi con le numerose particelle presenti nella matrice metallica.



**Zona termicamente alterata a grano ingrossato:
microvuoti isolati non facilmente distinguibili**

Strutture metallografiche

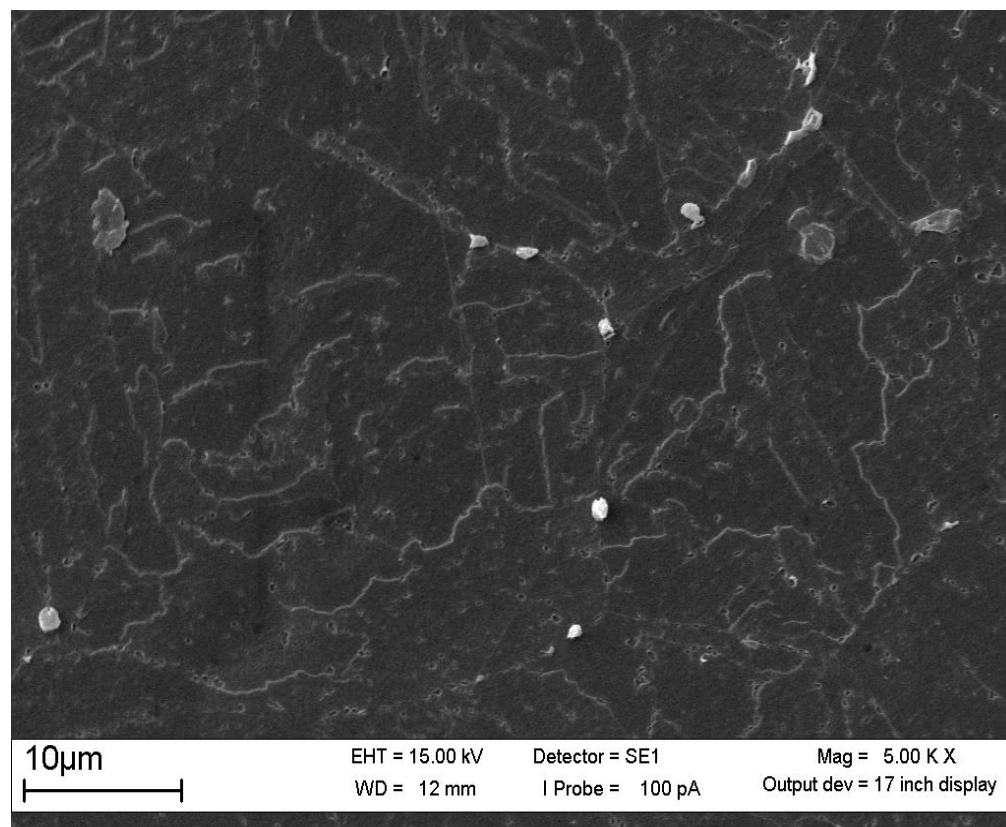
Se l'osservazione al microscopio ottico non permette di rilevare la presenza di microvuoti nella microstruttura, è consigliato osservare la replica metallografica mediante microscopio elettronico a scansione.



Zona termicamente alterata a grano ingrossato: microvuoti osservati al microscopio elettronico a scansione

Strutture metallografiche

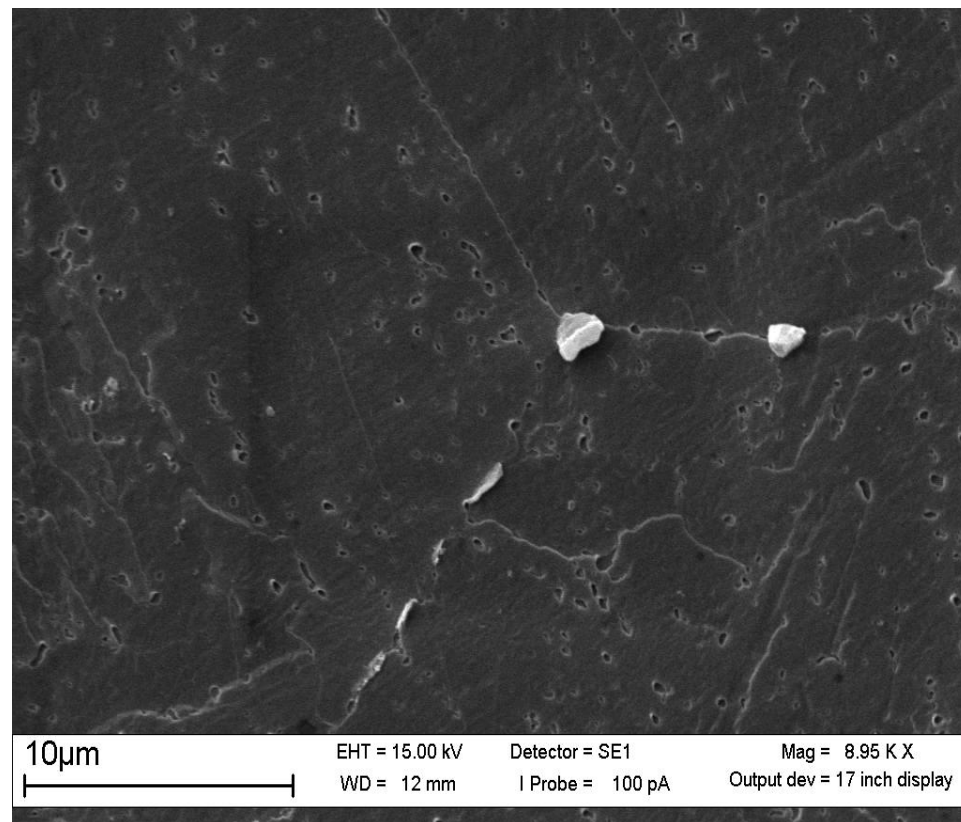
Il microscopio elettronico a scansione consente di visionare la replica ad alto ingrandimento sfruttando la sua alta risoluzione dell'immagine e ampia profondità di campo.



**Zona termicamente alterata a grano ingrossato:
microvuoti osservati al microscopio elettronico a
scansione**

Strutture metallografiche

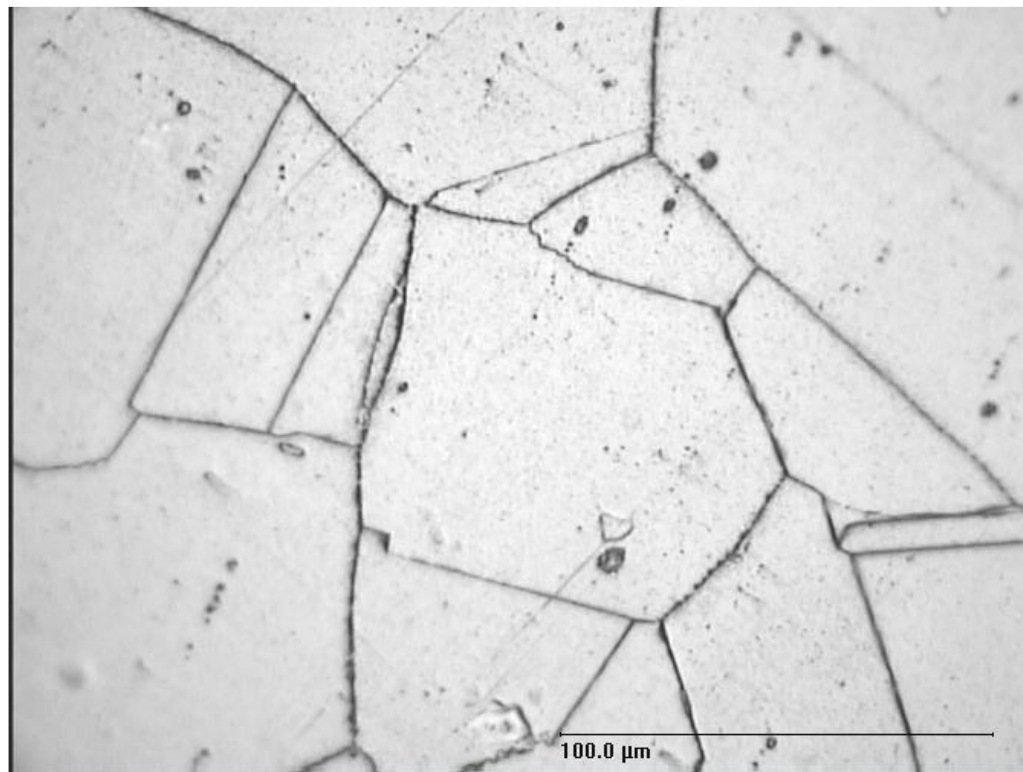
I microvuoti si mostrano in rilievo rispetto al piano della pellicola e di colore grigio chiaro.



Microvuoti in rilievo rispetto al piano della pellicola

Strutture metallografiche

Tra i materiali impiegati in esercizio alle alte temperature, l'acciaio inossidabile ricopre un ruolo importante. Esso viene impiegato allo stato solubilizzato e normalmente si impiegano gradi con contenuto di carbonio superiore (gradi H) rispetto ai gradi impiegati a temperatura ambiente o bassa temperatura, in quanto il carbonio aumenta la resistenza allo scorrimento viscoso a caldo..

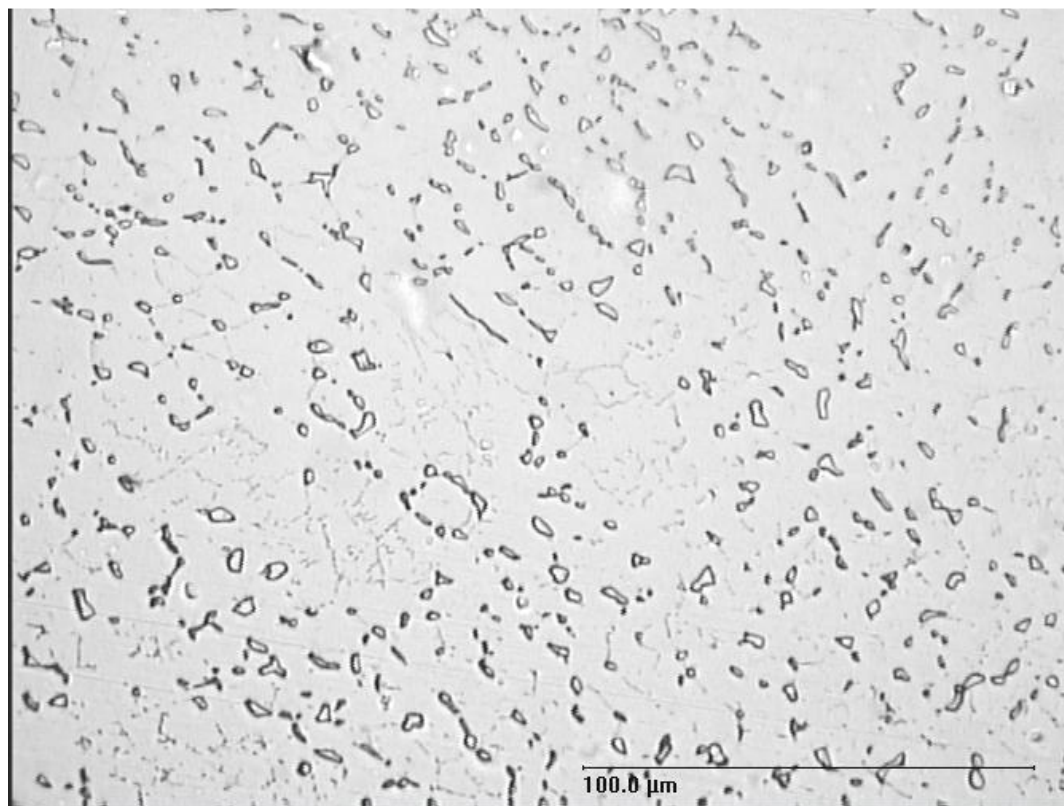


Acciaio tipo AISI 321H: struttura austenitica con carburi precipitati a bordo grano

Strutture metallografiche

Le alte temperature di esercizio portano vari problemi nell'impiego di acciai inossidabili austenitici. Essi infatti resistono molto bene al creep, ma si espongono alla formazione di fasi fragilizzanti quali la fase sigma.

La fase sigma si forma soprattutto in presenza di ferrite delta.



Acciaio tipo AISI 321H: isole di fase sigma in zona fusa