

CONTROLLI NON DISTRUTTIVI

Metodo PT – Liquidi Penetranti

Dispensa completa per la preparazione all'esame di certificazione ISO 9712 –
Livello 2

Corso	NDT PT/MT – Giugno 2026
Metodo trattato	PT – Penetrant Testing (Liquidi Penetranti)
Livello di certificazione	Livello 2 – ISO EN UNI 9712
Norma di riferimento principi	ISO EN UNI 34521 / EN ISO 3452-1
Norma accettabilità saldature	EN ISO 23277

PARTE 1 – FONDAMENTI DEI CONTROLLI NON DISTRUTTIVI

1. I Controlli Non Distruttivi (CND / NDT)

I Controlli Non Distruttivi sono metodi di ispezione che permettono di verificare la qualità e l'integrità di un manufatto senza distruggerlo o comprometterne l'utilizzo futuro.

1.1 Perché i CND sono necessari

Non è possibile distruggere ogni pezzo prodotto per verificarne la qualità. Ad esempio, per verificare la correttezza di una saldatura su un ponte non è concepibile tagliare o rompere le giunzioni. I CND consentono di valutare l'integrità mantenendo il manufatto integro e utilizzabile.

1.2 Differenza tra prove distruttive e non distruttive

Prove Distruttive	Prove Non Distruttive
Distruggono il campione	Non compromettono il pezzo
Risultati quantitativi precisi	Informazioni qualitative (presenza/assenza difetti)
Esempi: trazione, piega, Charpy, durezza, macrosezioni	Esempi: VT, PT, MT, RT, UT, ET, LT, TT, AE

2. La Norma UNI EN ISO 9712 – Qualificazione del Personale NDT

La norma di riferimento per la qualificazione degli operatori CND è la UNI EN ISO 9712. Definisce requisiti di formazione, esperienza, modalità d'esame, livelli di qualificazione e criteri di mantenimento della certificazione.

2.1 Significato della sigla UNI EN ISO

Sigla	Significato
ISO	International Organization for Standardization – organismo internazionale che sviluppa gli standard tecnici
EN	European Norm – adozione europea da parte del CEN (Comitato Europeo di Normazione)
UNI	Ente Italiano di Normazione – adozione della norma in Italia

2.2 Metodi coperti dalla ISO 9712

Sigla	Metodo	Tipo
VT	Visual Testing	Superficiale
PT	Penetrant Testing (Liquidi Penetranti)	Superficiale

MT	Magnetic Particle Testing (Magnetoscopia)	Superficiale
RT	Radiographic Testing	Volumetrico
UT	Ultrasonic Testing	Volumetrico
ET	Eddy Current Testing	Superficiale/Sub-sup.
LT	Leak Testing	Tenuta
TT	Thermographic Testing	Volumetrico
AE	Acoustic Emission	Volumetrico

NOTA IMPORTANTE

Non esiste propedeuticità tra i metodi: un operatore può qualificarsi direttamente sugli ultrasuoni (UT) senza aver mai ottenuto un'altra certificazione NDT. I livelli sono indipendenti tra metodi diversi: lo stesso operatore può avere Livello 2 MT, Livello 1 VT e Livello 3 PT contemporaneamente.

2.3 I tre livelli di qualificazione

Livello	Cosa PUÒ fare	Cosa NON può fare
1	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Eseguire il controllo ◦ Seguire istruzioni operative ◦ Registrare e classificare risultati 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Interpretare autonomamente ◦ Dare giudizio di accettabilità ◦ Operare senza supervisione
2 (CORSO)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Tutto ciò che fa il Livello 1 ◦ Scegliere la tecnica di controllo ◦ Interpretare i risultati ◦ Valutare l'accettabilità ◦ Emettere il giudizio finale 	Nessuna restrizione rispetto al Livello 1
3	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Redigere procedure NDT ◦ Qualificare e supervisionare personale ◦ Gestire programmi NDT ◦ Svolgere attività di esame e certificazione 	

2.4 Requisiti per la certificazione

- Frequentare un corso riconosciuto (obbligatorio, non sufficiente lo studio autonomo)
- Possedere esperienza industriale documentabile (per PT/MT Livello 2: alcuni mesi)
- Superare il test visivo (acutezza visiva e distinzione colori – fondamentale per il PT)
- Accettare il codice etico professionale

2.5 Struttura dell'esame

- Esame generale: domande teoriche su principio fisico, materiali, procedure, limiti, terminologia
- Esame specifico: domande relative al settore industriale di applicazione

- Esame pratico: esecuzione controlli su provini certificati, compilazione documentazione, interpretazione risultati; per il Livello 2 è richiesta anche la redazione di una semplice istruzione operativa

2.6 Validità della certificazione

- 5 anni: rinnovo con dimostrazione di continuità operativa e idoneità visiva
- 10 anni: ricertificazione più completa

PARTE 2 – DIFETTOLOGIA DEI PROCESSI INDUSTRIALI

3. Discontinuità e Difetti

ATTENZIONE / CONCETTO CHIAVE

Discontinuità \neq Difetto Discontinuità: qualsiasi interruzione della continuità del materiale. Non è necessariamente inaccettabile. Difetto: discontinuità che supera i criteri di accettazione definiti dalla norma di riferimento. Tutti i difetti sono discontinuità, ma non tutte le discontinuità sono difetti.

3.1 Classificazione delle discontinuità

Critero	Tipo	Rilevabile con
Posizione	Superficiali \rightarrow VT, PT, MT Volumetriche (interne) \rightarrow RT, UT	
Forma	Bidimensionali (es. cricche) – le più pericolose, possono essere innescate Tridimensionali (es. porosità) – generalmente meno critiche	
Origine	Metallurgiche: derivano dalle caratteristiche del materiale Operative: derivano da errori di lavorazione	
Momento di formazione	Primarie: durante fabbricazione semilavorati (laminati, forgiati, fusi) Finali: nel pezzo finito dopo lavorazioni meccaniche, saldatura Di servizio: durante il funzionamento del componente (fatica, corrosione)	

3.2 Difetti tipici dei principali processi industriali

Laminazione

La laminazione consiste nel passaggio del materiale tra rulli che ne riducono lo spessore, migliorando le caratteristiche meccaniche e orientando i grani.

- Sdoppiature (Laminations): inclusioni interne schiacciate e allungate nella direzione di laminazione; generalmente interne, raramente superficiali
- Filature: difetti superficiali lineari
- Ripiegature: sovrapposizioni del materiale che non si saldano tra loro

Forgiatura e Stampaggio

Processi di deformazione plastica mediante presse o magli.

- Strappi di forgiatura: rotture dovute a parametri di riscaldamento o stampaggio errati
- Ripiegature: materiale sovrapposto che non si fonde
- Flocchi: microfratture interne causate dall'idrogeno – molto pericolosi perché possono innescare cricche

Fusione (Getti)

- Cavità di ritiro: vuoti dovuti alla contrazione durante il raffreddamento
- Cricche a caldo: formate durante la solidificazione

- Riprese di colata: mancata fusione tra due getti successivi (simile all'incollatura)
- Soffiature e porosità: gas intrappolato nel metallo fuso

Trattamenti Termici e Lavorazioni Meccaniche

- Cricche da rettifica: linee incrociate in tutte le direzioni, tipiche di materiali duri, visibili solo in superficie
- Cricche da tempra: dovute a parametri errati di trattamento termico
- Tensioni residue e fragilizzazione locale

4. Difettologia della Saldatura

La saldatura è una delle applicazioni più comuni dei controlli NDT. Un ispettore deve conoscere bene il processo per interpretare correttamente le indicazioni.

4.1 Zone fondamentali di una saldatura

Zona	Descrizione
Materiale Base (MB)	Parte del materiale non interessata termicamente dal processo di saldatura
Zona Fusa (ZF)	Parte che ha raggiunto la fusione e poi si è solidificata; costituisce il cordone di saldatura vero e proprio
Zona Termicamente Alterata (ZTA)	Zona non fusa ma sottoposta a elevato riscaldamento; zona critica perché può sviluppare difetti e modifiche metallurgiche importanti (cricche a freddo, HAZ cracks)

4.2 Principali difetti di saldatura

Difetto	Cause	Posizione	Rilevabile PT?
Cricca a caldo	Solidificazione, impurezze, tensioni residue; tipica al centro del cordone	ZF (centro)	Sì (se superficiale)
Cricca a freddo (HAZ)	Idrogeno, tensioni residue; tipica in ZTA o trasversale al cordone	ZTA / ZF	Sì (se affiora)
Mancanza di penetrazione	Gap troppo stretto, corrente bassa; il cordone non raggiunge il rovescio del giunto	Radice	Sì (rovescio)
Mancanza di fusione	Lembi mal preparati; fusione di un solo lato del cianfrino	Fianco/radice	Sì (se superficiale)
Inclusioni di scoria	Tipiche di elettrodo, filo animato, arco sommerso	Interna/ZF	No (volumetrica)
Porosità	Gas intrappolato; protezione gassosa	ZF	Sì se sfociano

Incisioni marginali	insufficiente, superficie sporca Corrente o velocità troppo alte; il cordone 'mangia' il metallo base	Bordo cordone	Si
Inneschi d'arco / Spruzzi	Accensione fuori dal giunto; gocce di metallo solidificate	MB vicino	VT principalmente

ATTENZIONE / CONCETTO CHIAVE

La cricca è il difetto più pericoloso. È un difetto bidimensionale (planare) in grado di propagarsi per fatica o corrosione fino alla rottura del componente. È SEMPRE inaccettabile.

PARTE 3 – IL METODO PT: LIQUIDI PENETRANTI

5. Principi del Metodo PT

5.1 Definizione e campo di applicazione

Il metodo PT (Penetrant Testing) è un metodo di controllo non distruttivo superficiale che permette di rilevare esclusivamente discontinuità sfocianti in superficie (aperte verso l'esterno). Non è in grado di rilevare difetti interni.

ATTENZIONE / CONCETTO CHIAVE

Esempio: una porosità completamente interna a un cordone di saldatura non può essere rilevata con il PT, indipendentemente dalla quantità di penetrante applicata.

5.2 Vantaggi del metodo PT

- Applicabile a tutti i materiali ferromagnetici e non ferromagnetici (metalli, plastiche, ceramiche purché non eccessivamente porose)
- Relativamente facile da eseguire e interpretare: uno dei metodi più intuitivi
- Attrezzatura di costo ridotto: solitamente bombolette spray per pochi euro
- Facilmente trasportabile: ideale per controlli in campo, in cantiere, in spazi ristretti
- Applicabile su pezzi con scarsa accessibilità, senza necessità di calamite o sonde

5.3 Limiti del metodo PT

- Rileva SOLO discontinuità sfocianti in superficie (non difetti interni)
- Discontinuità contenenti sostanze estranee (grasso, polvere, ruggine) non vengono rilevate perché l'apertura risulta occlusa
- La superficie deve essere preparata e pulita accuratamente prima del controllo
- Non applicabile su superfici verniciate (la vernice copre le aperture): deve essere rimossa prima
- Non applicabile su materiali eccessivamente porosi: il penetrante impregna tutta la superficie creando rumore di fondo
- Limiti di temperatura: non applicabile sotto i 5°C (norma EN) / 10°C (norma ASTM) né sopra i 50°C

PT vs MT in cantiere

In cantiere, su strutture saldate esposte a polvere e intemperie, spesso si preferisce il MT (magnetoscopio) al PT perché il MT è meno sensibile allo stato della superficie. Il PT è invece ideale in officina controllata.

6. Principio Fisico: la Capillarità

Il funzionamento dei liquidi penetranti si basa sul fenomeno fisico della capillarità, derivata da tre proprietà dei liquidi:

6.1 Viscosità

La viscosità è la resistenza interna al movimento di un liquido (attrito tra molecole). Un liquido altamente viscoso (es. pece) scorre lentamente; uno poco viscoso (es. olio d'oliva) scorre rapidamente.

Viscosità	Effetto	Conseguenza per PT
Alta	Liquido lento, stenta a scorrere	Tempi di penetrazione più lunghi, ma rimane meglio nelle discontinuità
Bassa	Liquido veloce, scivola via facilmente	Entra rapidamente ma può non restare nella discontinuità (spec. su superfici verticali)

6.2 Tensione Superficiale e Bagnabilità

La tensione superficiale è la forza di coesione tra le molecole sulla superficie del liquido. Una goccia con alta tensione superficiale tende a rimanere sferica (non si stende); una goccia con bassa tensione superficiale si espande (bagni la superficie).

Un liquido si definisce bagnabile se l'angolo di contatto tra la goccia e la superficie è inferiore a 90°. I penetranti sono formulati per essere altamente bagnabili.

- Alta tensione superficiale → bassa bagnabilità (la goccia rimane alta)
- Bassa tensione superficiale → alta bagnabilità (la goccia si espande)

6.3 Capillarità

La capillarità è il fenomeno per cui un liquido sale o scende spontaneamente in tubi di piccolo diametro (capillari) contro o in aiuto alla forza di gravità, in funzione della sua bagnabilità e tensione superficiale.

ATTENZIONE / CONCETTO CHIAVE

Il liquido penetrante NON entra nelle discontinuità per gravità, ma per capillarità. Questo è il motivo per cui il metodo PT funziona anche su superfici verticali e in posizioni sopraelevate. La capillarità risucchia il penetrante all'interno della discontinuità.

Analogia dalla vita quotidiana: borotalco versato su una macchia di sugo o olio – il borotalco richiama il liquido verso la superficie, esattamente come fa il rivelatore bianco con il penetrante rosso.

7. Classificazione dei Liquidi Penetranti

7.1 Prima classificazione: tipo di rivelazione

Penetranti Colorati (a contrasto di colore)	Penetranti Fluorescenti
Colore rosso (penetrante) su sfondo bianco (rivelatore)	Visibili sotto lampada di Wood (luce UV a 365 nm)
Utilizzati con luce bianca (naturale o artificiale, min. 500 lux)	Richiedono oscurità e camera oscura apposta
Più pratici in campo aperto e cantiere	Sensibilità superiore (particelle più piccole)
I più diffusi nell'uso quotidiano	Meno pratici in cantiere aperto
Lampada di Wood (UV)	

La lampada UV filtra le lunghezze d'onda del visibile lasciando passare solo le radiazioni ultraviolette (~365 nm). Le particelle fluorescenti nel penetrante vengono eccitate dalla radiazione UV e riemettono luce nel visibile (~550–600 nm). L'intensità della lampada deve essere verificata ogni 8 ore di lavoro con strumento tarato a 365 nm.

7.2 Seconda classificazione: tecnica di rimozione dell'eccesso

Tipo	Come si rimuove	Sensibilità / Note
Lavabile con acqua (Autolavanti)	Solo acqua (getto a pressione max 3,4 atm, angolo 45°)	Sensibilità più bassa; più adatti su superfici ruvide (evita falsi segnali)
Post-emulsionabili	Prima emulsificante (saponoso, 1-5 minuti), poi acqua	Sensibilità intermedia; più controllo sulla rimozione; rarissimi in pratica
Asportabili con solvente	Panno imbevuto di solvente (MAI solvente diretto sulla superficie)	Sensibilità superiore; ideali su superfici lavorate/rettificate; spray classici

7.3 Classifica globale della sensibilità

Pos.	Tipo di penetrante	Note
1°	Fluorescenti rimovibili con solvente	Massima sensibilità – uso in condizioni controllate
2°	Fluorescenti post-emulsionabili	Alta sensibilità
3°	Fluorescenti autolavanti	Media-alta sensibilità
4°	Colorati rimovibili con solvente	Media sensibilità – i più comuni in pratica
5°	Colorati post-emulsionabili	Media-bassa sensibilità
6°	Colorati autolavanti	Sensibilità più bassa – ma i più adatti per superfici ruvide e uso in campo

ATTENZIONE / CONCETTO CHIAVE

ATTENZIONE: maggiore sensibilità non significa sempre miglior risultato! Su superfici ruvide o non perfettamente lisce, i penetranti più sensibili (solvente) producono troppi falsi segnali che coprono le indicazioni rilevanti. I colorati autolavanti, pur meno sensibili, sono spesso la scelta ottimale nella pratica quotidiana.

8. Composizione Chimica e Proprietà dei Penetranti

8.1 Limiti chimici per materiali critici (norme ASME)

Materiale da controllare	Limite chimico del penetrante
Leghe di nichel	Contenuto di zolfo nel residuo secco: max 1% in peso (lo zolfo può causare corrosione per intergranulare)
Acciai inossidabili austenitici (es. AISI 304, 316) Titanio e sue leghe	Contenuto di alogeni (cloro, fluoro, ecc.) nel residuo secco: max 1% in peso (gli alogeni favoriscono la corrosione sotto tensione)

8.2 Altre proprietà importanti

- Punto di infiammabilità: i penetranti sono a base di oli petroliferi; deve essere sufficientemente alto per la sicurezza operatore
- Tossicità: bassa, ma è opportuno l'uso di guanti; inalare vapori non è raccomandato
- Chimicamente inerti rispetto al materiale controllato

9. I Rivelatori (Developer)

Il rivelatore è il prodotto di colore bianco che, applicato dopo la pulizia del penetrante in eccesso, richiama per capillarità il penetrante dalle discontinuità verso la superficie, rendendo visibile l'indicazione.

9.1 Come funziona il rivelatore

Il rivelatore in spray, una volta applicato, evapora lasciando uno strato di polvere finissima. Tra le particelle di polvere si creano canali capillari estremamente stretti che, per capillarità, risucchiano il penetrante dalla discontinuità verso l'esterno, creando un'indicazione colorata (o fluorescente).

9.2 Tipi di rivelatore

Tipo	Applicazione	Note
A secco (polvere)	Distributore ad aria compressa su pezzo asciutto	Massima sensibilità; difficile su superfici non piane; poco diffuso
In solvente (spray)	Bomboletta spray; evaporazione rapida	Il più diffuso; l'esame inizia quasi subito dopo l'applicazione
In acqua (soluzione acquosa)	Immersione o spruzzatura; bisogna aspettare asciugatura	Minore sensibilità; tempi più lunghi; meno diffuso

9.3 Requisiti di un buon rivelatore

- Facilmente applicabile, diffondersi uniformemente sulla superficie
- Alta capacità di assorbimento del penetrante
- Non fluorescente (per i sistemi a contrasto di colore)
- Facilmente rimovibile dopo il controllo
- Non tossico

9.4 Famiglie di prodotto (ISO 3452-1)

ATTENZIONE / CONCETTO CHIAVE

Principio fondamentale: penetrante e rivelatore devono appartenere alla STESSA famiglia di prodotti dello stesso produttore. Non è consentito mescolare prodotti di marche o famiglie diverse, perché il produttore garantisce la compatibilità e le prestazioni solo all'interno della propria famiglia.

PARTE 4 – PROCEDURA OPERATIVA DEL CONTROLLO PT

10. Le Fasi del Controllo PT

10.1 Schema generale delle fasi

N.	Fase	Dettagli
1	Attività preliminare	Raccolta documentazione, conoscenza del pezzo, scelta del metodo
2	Pulizia della superficie	Rimozione di grasso, polvere, ossidi, vernice
3	Applicazione del penetrante	Velo uniforme; almeno 25 mm oltre la zona da controllare
4	Tempo di penetrazione (dwell time)	Minimo 5 minuti; tipicamente 10–15 minuti
4a-4b	(Solo post-emulsionabili)	Applicazione emulsificante (1–5 min) poi rimozione con acqua
5	Rimozione penetrante in eccesso	Con acqua (max 3,4 atm, 45°) o panno con solvente; verifica con panno bianco
6	Asciugatura	Superficie completamente asciutta prima del rivelatore (eccetto rivelatore acquoso)
7	Applicazione del rivelatore	Velo uniforme su tutta la superficie; spray solvente è il più comune
8	Esame dei segnali (ispezione)	FASE PRINCIPALE: inizia subito dopo applicazione; osservare sviluppo indicazioni
9	Documentazione	Registrazione indicazioni, dimensioni, posizione, valutazione accettabilità
10	Pulizia finale	Rimozione di penetrante e rivelatore (ossidazione se lasciati)

10.2 Fase 1: Attività preliminare

Prima di cominciare il controllo, l'operatore deve acquisire:

- Storia del manufatto: tipo di materiale, lavorazioni subite, processi eseguiti
- Condizioni superficiali del pezzo: nuova produzione o componente già in esercizio?
- Condizioni di servizio: ambienti corrosivi, sollecitazioni termiche o meccaniche
- Norme e standard di riferimento applicabili
- Procedure e istruzioni operative vigenti

Conoscere la storia del pezzo permette di anticipare il tipo di difetti attesi (es. su un forgiato non mi aspetto riprese di colata, tipiche delle fusioni).

10.3 Fase 2: Pulizia della superficie

La pulizia è una delle fasi più critiche. Elementi estranei possono:

- Contaminare il penetrante alterando le sue proprietà
- Occludere le discontinuità impedendo l'ingresso del penetrante
- Impedire la corretta bagnatura della superficie

Metodi CONSENTITI	Metodi NON CONSENTITI
<ul style="list-style-type: none"> ◦ Spazzolatura con spazzola ◦ Pulizia chimica con solvente ◦ Molatura dolce (senza creare bave) ◦ Sgrassatura 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Sabbiatura (occluda le discontinuità) ◦ Pallinatura ◦ Qualsiasi trattamento che chiuda le aperture

10.4 Fase 3: Applicazione del penetrante

- Il penetrante deve essere applicato in modo uniforme su tutta la superficie da controllare
- Su saldature: almeno 25 mm per lato oltre il cordone (per coprire anche la ZTA)
- Metodi di applicazione: spruzzo (bomboletta), pennello, immersione in vasca (per pezzi piccoli)

10.5 Fase 4: Tempo di penetrazione (Dwell Time)

ATTENZIONE / CONCETTO CHIAVE

Il tempo di penetrazione minimo secondo la norma EN ISO 3452-1 è 5 minuti. Il valore tipicamente consigliato è 10–15 minuti. MAI inferiore a 5 minuti.

In pratica, quando si controllano più saldature in sequenza, si spruzza il penetrante su tutte in sequenza, e si torna alla prima per la rimozione dopo che sono trascorsi i 10–15 minuti.

10.6 Fase 5: Rimozione del penetrante in eccesso

L'obiettivo è rimuovere il penetrante dalla superficie mantenendolo all'interno delle discontinuità.

Tipo di penetrante	Modalità di rimozione
Autolavante	Getto d'acqua: pressione max 3,4 atm, angolo circa 45° rispetto alla superficie
Asportabile con solvente	Prima: panno asciutto per rimozione grossolana. Poi: panno imbevuto di solvente. MAI spruzzare il solvente direttamente sulla superficie (rischio di rimuovere anche il penetrante nelle discontinuità)
Post-emulsionabile	Applicare emulsificante, attendere 1–5 min (determinato da prove), poi lavare con acqua

Verifica della pulizia: passare un panno bianco pulito sulla superficie. Se rimane traccia rosa/rossa, la pulizia non è completa.

10.7 Fase 7: Applicazione del rivelatore

- La superficie deve essere completamente asciutta prima dell'applicazione (eccetto rivelatori acquosi)
- Lo spray deve creare un velo bianco uniforme su tutta la superficie
- Con rivelatore a solvente, l'evaporazione è rapida (5–10 minuti): l'esame inizia quasi subito

10.8 Fase 8: Esame dei segnali – la fase più importante

ATTENZIONE / CONCETTO CHIAVE

L'operatore DEVE essere presente fin dall'inizio dell'applicazione del rivelatore. È fondamentale osservare come si sviluppano le indicazioni: la velocità e il modo in cui il rosso emerge danno informazioni sul tipo di discontinuità.

Tipi di segnali

Tipo di segnale	Aspetto	Possibile causa
Continuo lineare	Linea continua, dritta o frastagliata, molto marcata	Cricca, mancanza di fusione, incisione marginale
Intermittente	Trattini separati lungo una linea	Ripiegatura, incollatura, mancanza di fusione parziale
Tondeggiante	Macchia circolare, espansione uniforme	Porosità
Diffuso / Area estesa	Zona rossa ampia senza forma definita	Forse falso segnale (vedi sotto)

Segnali non indicativi e falsi segnali

Non tutti i segnali rossi sono indicazioni di difetti reali. L'operatore deve saper distinguere:

- Indicazioni geometriche: maglia del cordone di saldatura, filettature, angoli stretti; il penetrante si accumula nelle geometrie ed emerge all'apertura del rivelatore
- Falsi segnali: filacciature di carta, impronta di guanti sporchi di penetrante, trasferimento da panno non pulito
- Indicazioni da zone di discontinuità geometrica nota (notch, cambi di sezione)

Aspetto e sviluppo del segnale

- Segnale marcato che si allarga rapidamente: la discontinuità è profonda (molto penetrante all'interno)
- Segnale leggero che rimane stabile: la discontinuità è poco profonda
- Un segnale che copre tutto il campo di vista: probabilmente un'area con penetrante in eccesso non rimosso correttamente, o zone vicino a filettature/fori

10.9 Temperatura: limiti operativi

Limite	Norma EN ISO 3452-1	Norma ASTM
Minimo	5°C (temperatura superficie)	10°C
Massimo	50°C	52°C
Fuori limiti	Prova di attendibilità obbligatoria (ISO 3452-5 o -6)	Prova di qualifica specifica

11. Applicazioni Speciali**11.1 Prova di tenuta (Through-hole detection)**

I penetranti possono essere usati per verificare discontinuità passanti (che attraversano lo spessore di una parete da un lato all'altro):

- Il penetrante (preferibilmente fluorescente) si applica sul FRONTE del componente
- Si omette la fase di rimozione dell'eccesso
- Il rivelatore si applica sul RETRO
- Se appaiono segnali sul retro, significa che esiste una discontinuità passante

Utile per la verifica di tenuta di serbatoi, vasche, pareti di contenimento.

11.2 Prova di attendibilità (Comparazione prodotti)

Utilizza un blocco di comparazione in lega Al-Cu-Mg riscaldato e raffreddato bruscamente per creare cricche calibrate su entrambe le metà del blocco. Serve a:

- Verificare se prodotti conservati a lungo sono ancora efficaci (confronto con prodotto fresco della stessa marca)
- Verificare se un prodotto funziona a temperature fuori norma (es. 2°C o 55°C) confrontando i segnali ottenuti a temperatura limite vs temperatura standard
- Qualificare famiglie di prodotti diverse dalla stessa famiglia del produttore

PARTE 5 – NORME DI RIFERIMENTO E CRITERI DI ACCETTABILITÀ

12. Norme di Riferimento

12.1 EN ISO 3452-1 – Principi generali del metodo PT

Norma principale che definisce principio, metodologia e fasi del controllo PT. Recepita in Europa (EN) e in Italia (UNI).

- Campo di applicazione: materiali metallici principalmente; anche ceramici e plastici purché non porosi e non reagenti
- Definisce le famiglie di prodotti e la loro classificazione
- Stabilisce i limiti di temperatura (5°C – 50°C)
- Indica il tempo di penetrazione minimo: 5 minuti; tipicamente 10–15 minuti
- Indica il tempo di rivelazione minimo: 10 minuti (la norma 2021 NON dà più un limite massimo: il tempo massimo deve essere definito nella procedura operativa)
- Condizioni di illuminazione per l'esame: minimo 500 lux per i colorati (da EN ISO 3059)
- Prescrive che il controllo sia eseguito da personale certificato ISO 9712 o equivalente

12.2 EN ISO 23277 – Livelli di accettabilità PT su saldature

Norma di prodotto per saldature. Definisce i criteri di accettabilità delle indicazioni PT su saldature di materiali metallici.

Definizioni fondamentali della norma

Termine	Definizione
Indicazione LINEARE	Lunghezza (L) > 3 volte la larghezza (I): $L > 3I$ Esempio: cricca, mancanza di fusione, incisione marginale
Indicazione NON LINEARE (tondeggiate)	Lunghezza (L) ≤ 3 volte la larghezza (I): $L \leq 3I$ Esempio: porosità isolata, cavità tondeggiate

Livelli di accettabilità EN ISO 23277

Livello	Indicazioni LINEARI: max L accettabile	Indicazioni NON LINEARI: max d (asse maggiore) accettabile
1 (più restrittivo)	$L \leq 2 \text{ mm}$	$d \leq 4 \text{ mm}$
2	$L \leq 4 \text{ mm}$	$d \leq 6 \text{ mm}$
3 (più blando)	$L \leq 8 \text{ mm}$	$d \leq 8 \text{ mm}$
2X (più usato in pratica)	Valutate come Livello 1 ($L \leq 2 \text{ mm}$)	$d \leq 6 \text{ mm}$ (come Livello 2)

ATTENZIONE / CONCETTO CHIAVE

Il livello di accettabilità NON lo decide l'operatore NDT, ma viene prescritto dal cliente, dalla direttiva applicabile (es. PED), dalla norma costruttiva (es. EN 1090) o dalla specifica tecnica

di contratto. Il livello 2X (lineare come Livello 1, non lineare come Livello 2) è il più comunemente utilizzato nella pratica industriale.

Criteria di valutazione

- Qualsiasi cricca è sempre inaccettabile, indipendentemente dalle dimensioni
- Dopo l'identificazione dell'indicazione, l'operatore deve pulirla e verificarne la natura (cricca, porosità, incollatura, ecc.)
- La misurazione deve essere effettuata entro il tempo di sviluppo definito in procedura (tipicamente 10–15 minuti); oltre tale tempo l'indicazione potrebbe essersi espansa e non rappresentare più la dimensione reale del difetto

In caso di riparazione

- Molatura dell'area del difetto (dove consentito dalla specifica)
- Risaldatura se necessario
- Riesame con lo STESSO sistema penetrante e le stesse modalità del controllo originale

12.3 EN ISO 3059 – Condizioni di osservazione

- Luce bianca per i colorati: minimo 500 lux in superficie
- Luce UV per i fluorescenti: verifica con strumento tarato a 365 nm ogni 8 ore

12.4 Altre norme di riferimento

Norma	Oggetto
EN ISO 3452-2	Prove dei materiali di controllo penetranti
EN ISO 3452-3	Pezzi di riferimento e blocchi di comparazione
EN ISO 3452-5	PT a temperature inferiori a 10°C
EN ISO 3452-6	PT a temperature superiori a 50°C
EN 10228-2	PT su forgiati in acciaio
ASME Sezione V, Articolo 6	Norma americana di riferimento per il metodo PT (più completa e unificata)

PARTE 6 – DIFETTI RILEVABILI CON PT: ASPETTO DEL SEGNALE

13. Segnali PT per tipo di difetto

Difetto	Origine	Aspetto segnale	Note diagnostiche
Sdoppiatura (laminazione)	Primaria	Linea continua dritta, molto marcata, ad espansione rapida	Solo se sfociano sul bordo della lamiera; interne non rilevabili
Ripiegatura (forgiatura/laminazione)	Primaria	Continuo o intermittente; moderata intensità; può essere a tratti (dove la ripiegatura è chiusa)	Non aspettarsi sempre una linea marcata: in alcuni tratti la ripiegatura può risultare soudata a freddo
Incollatura (fusione/ripresa colata)	Primaria	Continuo o intermittente, simile alla ripiegatura	Tipica dei getti; non aspettarsi nei forgiati o nei laminati
Cricca da rettifica	Finale	Linee continue incrociate in tutte le direzioni, rete frastagliata	Tipiche di materiali duri (acciai temprati); superfici rettificate
Cricca a caldo (saldatura)	Finale	Continuo, molto marcato, disposto al centro del cordone	Asse longitudinale del cordone; rapida espansione; molto rosso perché la cricca è aperta e profonda
Cricca a freddo / HAZ (saldatura)	Finale	Continuo, al margine della saldatura o trasversale al cordone	Non sempre affiora in superficie; più difficile da rilevare della cricca a caldo
Mancanza di penetrazione	Finale	Continuo o intermittente alla radice; rilevabile dal rovescio	Controllare sempre da entrambe le facce quando possibile
Mancanza di fusione	Finale	Continuo o intermittente sul fianco del cianfrino; debole intensità	Spesso poco penetrante nella discontinuità perché l'apertura è stretta; segnale non sempre marcato
Porosità (sfociente)	Finale	Tondeggiante, molto marcata, espansione uniforme e rapida	Già visibile all'ispezione visiva (VT) nella maggior parte dei casi; rara su PT
Incisioni marginali	Finale	Continuo, parallelo al cordone, frastagliato, molto marcato	Lungo tutto o parte del bordone; tipico di correnti/velocità eccessive

Cricca da fatica	Servizio	Continuo, frastagliato, molto marcato; solitamente a 45° su assi rotativi	Si forma in corrispondenza di variazioni geometriche (intagli, raggi di raccordo)
Cricca da corrosione sotto tensione	Servizio	Linee ramificate incrociate, raggruppate, in tutte le direzioni	Tipica di materiali in ambiente corrosivo sotto tensione residua; frequente vicino a saldature

PARTE 7 – SCHEMA DI RIEPILOGO PER L'ESAME

14. Concetti Chiave per l'Esame

Domanda frequente all'esame	Risposta
Qual è la norma per la qualificazione operatori NDT?	UNI EN ISO 9712
Cosa significa PT?	Penetrant Testing – Liquidi Penetranti
Cosa può rilevare il Livello 2?	Esegue, sceglie la tecnica, interpreta, valuta l'accettabilità e dà il giudizio finale
Durata certificazione ISO 9712	5 anni (rinnovo) / 10 anni (ricertificazione completa)
Il PT rileva difetti interni?	NO. Solo discontinuità sfocianti in superficie
Su quali materiali si applica il PT?	Tutti i materiali (ferro, alluminio, titanio, ceramica, plastica) purché non porosi e non reagenti
Principio fisico del PT	Capillarità (derivata da bagnabilità, tensione superficiale e viscosità)
Tempo di penetrazione minimo (EN)	5 minuti; consigliato 10-15 minuti
Tempo di rivelazione minimo (EN 3452-1 2021)	10 minuti; il massimo è definito in procedura (non più fisso a 30 min)
Temperatura minima di lavoro (EN)	5°C (superficie del pezzo)
Penetranti più sensibili	Fluorescenti rimovibili con solvente
Penetranti meno sensibili ma più pratici	Colorati (rosso/bianco) autolavanti con acqua
Come si rimuove il solvente?	Panno imbevuto di solvente (MAI solvente diretto sulla superficie)
Indicazione lineare (EN 23277)	$L > 3 \times \text{larghezza}$
Livello di accettabilità più usato in pratica	Livello 2X (lineari come Livello 1, non lineari come Livello 2)
Difetto sempre inaccettabile	La CRICCA (qualsiasi dimensione)
Il difetto più pericoloso	La cricca (difetto bidimensionale, propagabile)
Sabbiatura prima del PT: si può?	NO! La sabbiatura occlude le discontinuità
Su superfici verniciate si può fare il PT?	NO: la vernice deve essere rimossa prima
Cosa è la ZTA?	Zona Termicamente Alterata: zona non fusa ma riscaldata, soggetta a cricche a freddo
Il primo controllo sempre eseguito su un manufatto	Esame Visivo (VT) al 100%

Dispensa redatta sulla base delle lezioni del corso MT/PT – Giugno 2026