Controllo CND Metodo Liquidi Penetranti “PT”

Move Forward with Confidence

METODI D'ESAME

I controlli non distruttivi si suddividono in due famiglie:

► **controlli non distruttivi superficiali**: danno la possibilità di esaminare i particolari solo a livello superficiale ed al massimo sottopelle. Con l'applicazione di tali metodi di esame si ha solo la possibilità di localizzare l'eventuale presenza dei difetti, identificando solo la loro forma ed estensione, quindi non si riesce a quantificare in modo preciso la profondità del difetto;

► **controlli non distruttivi volumetrici**: al contrario dei metodi superficiali con l'applicazione dei controlli volumetrici si ha la possibilità di verificare l'integrità nel materiale, purtroppo in alcuni casi specifici non si riescono ad individuare difettosità superficiali.

INTRODUZIONE

Dal momento che i metodi di esame volumetrici e superficiali hanno dei limiti, per aumentare l'affidabilità del controllo, è buona norma abbinare una tecnica di controllo volumetrico con una di controllo superficiale.

METODI SUPERFICIALI

I metodi di controllo non distruttivo superficiali sono:

- esame visivo
- esame con liquidi penetranti
- esami con particelle magnetiche (anche sub-superficiale)

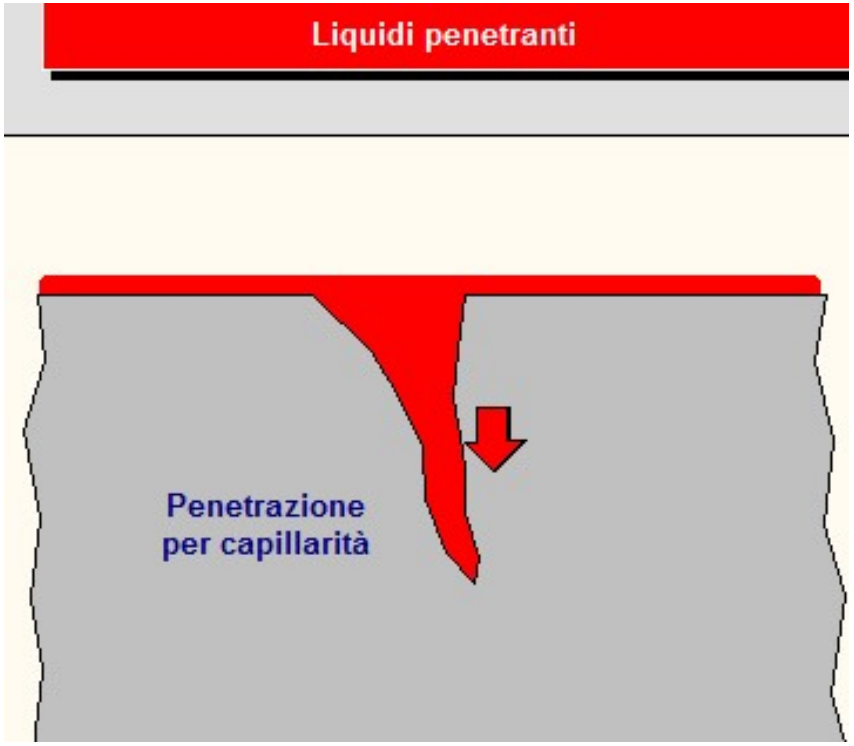
METODI VOLUMETRICI

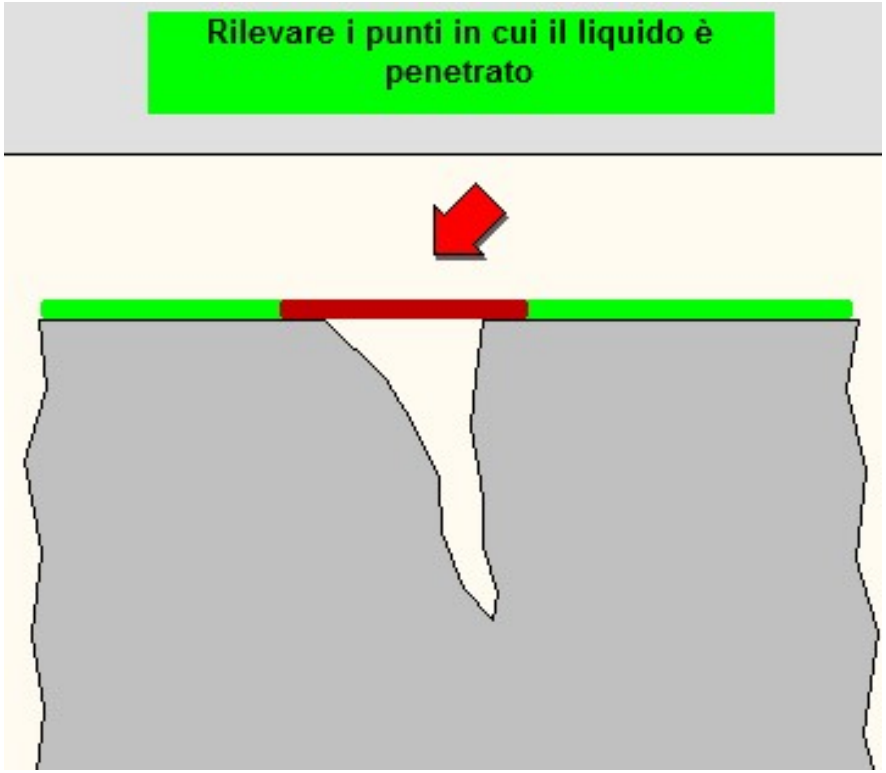
I metodi di controllo non distruttivo volumetrici sono:

- esame radiografico
- esame ad ultrasuoni

Metodo PT – Principio del metodo

Questa tecnica di prova non distruttiva sfrutta la capacità di alcuni liquidi di penetrare, per **capillarità** e non per gravità, all'interno dei difetti superficiali ed affioranti alla superficie del pezzo in esame (cricche, cavità, ecc) e sulla possibilità di rilevare i punti della superficie del pezzo in cui il liquido è penetrato.





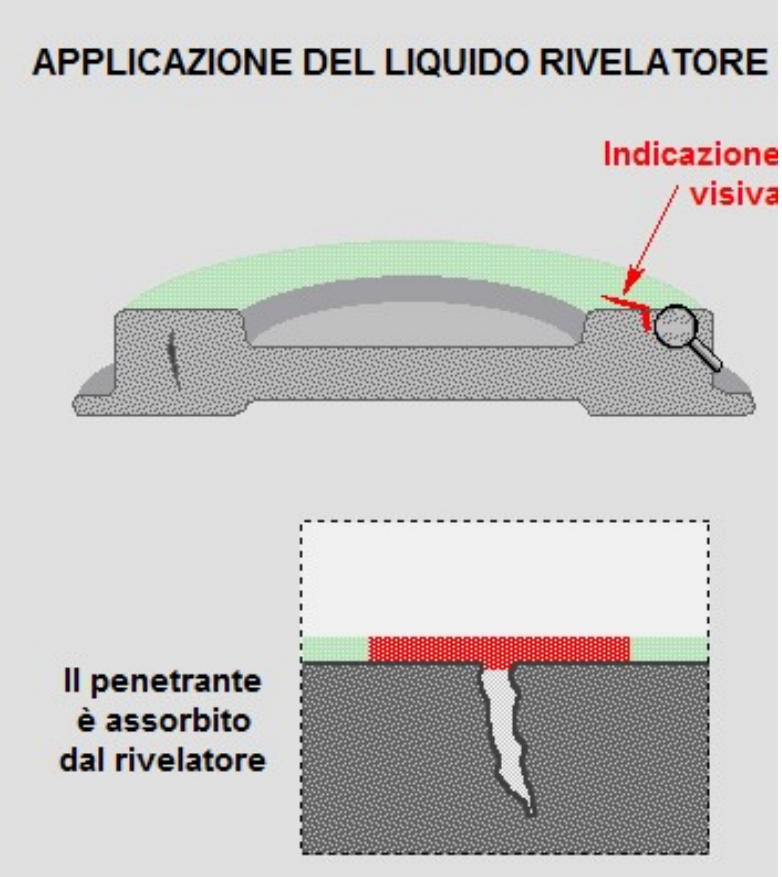
La bassa **tensione superficiale** e la buona **bagnabilità** di questi liquidi, ne assicurano la penetrazione anche all'interno di discontinuità sottilissime.

Metodo PT – Principio del metodo

Dopo l'applicazione e la penetrazione del liquido (detto appunto penetrante), operazione che richiede un tempo variabile a seconda del tipo di prodotto utilizzato, del tipo di materiale da ispezionare e del tipo di discontinuità da rilevare, il liquido penetrante eccedente è rimosso dalla superficie mediante tecniche opportune.

Dopo il lavaggio, sfruttando ancora una volta il principio della capillarità, viene estratto il liquido penetrante rimasto all'interno delle difettosità; l'operazione viene compiuta applicando sulla superficie del pezzo uno strato di polvere bianca di opportuno spessore (rivelatore).

Il liquido penetrante "risalito" per capillarità, lascerà nel rivelatore un segnale avente dimensioni molto maggiori rispetto al difetto che lo ha generato. A seconda della tecnica applicata il difetto potrà essere evidenziato in vari modi: o come una macchia di colore rosso (**tecnica visibile o a contrasto di colore**) o come macchia fluorescente (**tecnica con liquido fluorescente**) facilmente rilevabile mediante irradiazione, al buio, con luce nera (lampada di Wood).



Metodo PT – Applicazioni

L'ispezione con liquidi penetranti è un metodo particolarmente idoneo per evidenziare e localizzare discontinuità superficiali, quali cricche, porosità, ripiegature, in modo veloce ed economico e con grande accuratezza su tutte le tipologie di materiali, acciai, leghe di rame, leghe di alluminio, vetro, plastica ad altro, senza alcune limitazione della forma dei componenti stessi.
Contrariamente ai controlli magnetici, i liquidi penetranti possono essere applicati con successo su qualsiasi componente, indipendentemente dalla geometria o dal materiale dello stesso (fatti salvi pezzi porosi, come ad esempio i sinterizzati o i getti di ghisa oppure pezzi con superfici particolarmente rugose).

Metodo PT – Vantaggi e limiti

VANTAGGI

- E’ applicabile a tutti i materiali (ferromagnetici e non)
- E’ relativamente di facile esecuzione ed interpretazione
- E’ eseguibile anche su pezzi o particolari aventi scarsa accessibilità
- Investimento iniziale molto basso rispetto ad altre tecniche CND

LIMITI

- Rileva solo discontinuità sfocianti alla superficie
- La presenza di sostanze estranee (ossidi, sporcizia, ecc…) impedisce al liquido di penetrare nelle discontinuità per cui la superficie del pezzo deve essere preparata in modo estremamente accurato

Metodo PT – Penetranti

CLASSIFICAZIONE ISO 3452-1

- Tipo I – Liquido penetrante fluorescente
- Tipo II – Liquido penetrante a contrasto di colore
- Tipo III – Doppio impiego (liquido penetrante fluorescente a contrasto di colore)

Metodo PT – Penetranti

LIQUIDI A CONTRASTO DI COLORE

Forniscono indicazioni visibili alla luce del giorno o in luce bianca artificiale (normali lampade da illuminazione).

L'indicazione risulta visibile per il **contrasto di colore** formato tra:

- il liquido (a cui è aggiunta una certa quantità di pigmento rosso) e
- il rilevatore (in genere bianco)

LIQUIDI FLUORESCENTI

Forniscono indicazioni visibili al buio.

L'indicazione risulta visibile per **fluorescenza** quando viene investita da una radiazione ultravioletta (illuminati cioè da una **lampada di Wood**).

A questi liquidi è aggiunta una certa quantità di sostanza fluorescente.

Metodo PT – Metodi di rimozione del penetrante

CLASSIFICAZIONE ISO 3452-1

- Metodo A – Acqua
- Metodo B – Emulsionante lipofilico
- Metodo C – Solvente liquido
- Metodo D – Emulsionante idrofilico
- Metodo E – Acqua e solvente

Metodo PT – Metodi di rimozione

LAVABILI CON ACQUA

L'eccesso di penetrante viene rimosso direttamente con acqua; per tale ragione sono anche detti autolavanti o idrosolubili.

Contengono incorporato un additivo emulsionante che ha la capacità di dissolverli in acqua.

ASPORTABILI CON SOLVENTE

Il liquido in eccesso può essere rimosso solo tramite un opportuno solvente organico

POST-EMULSIONABILI

Il liquido in eccesso può essere asportato con acqua solo dopo l'applicazione di un liquido emulsionante

Metodo PT – Proprietà chimico - fisiche

Il liquido utilizzato come **penetrante** deve possedere determinate caratteristiche che ne assicurino la sua inserzione all'interno delle discontinuità, anche in quelle molto sottili:

- tensione superficiale
- bagnabilità
- capillarità
- viscosità
- densità
- punto di infiammabilità
- inerzia chimica
- livello di tossicità

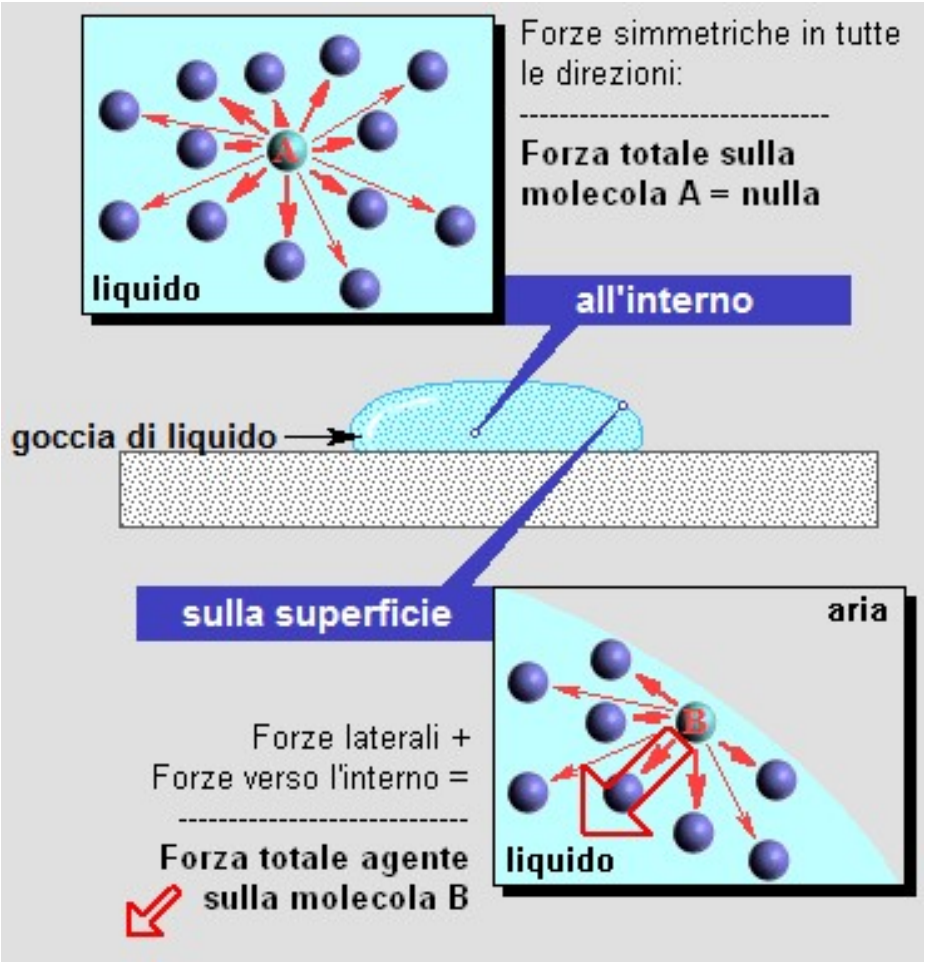
Metodo PT – Tensione superficiale

E’ la forza che agisce tra le molecole alla superficie di un liquido.

Nello strato superficiale le molecole sono attratte tra di loro da forze di coesione più di quanto non lo siano all’interno. A causa di queste forze lo strato superficiale si trova in uno stato energico maggiore di quanto non lo sia all’interno, ma per un principio fisico generale, la goccia tende ad assumere una forma tale da ridurre al minimo la sua energia, in sostanza tende a ridurre al minimo la sua superficie, assumendo una forma sferica (in quanto la sfera è appunto il solido Geometrico che presenta la minor superficie a parità di volume).

La tensione superficiale è la forza agente ortogonalmente per unità di lunghezza nello stato di liquido.

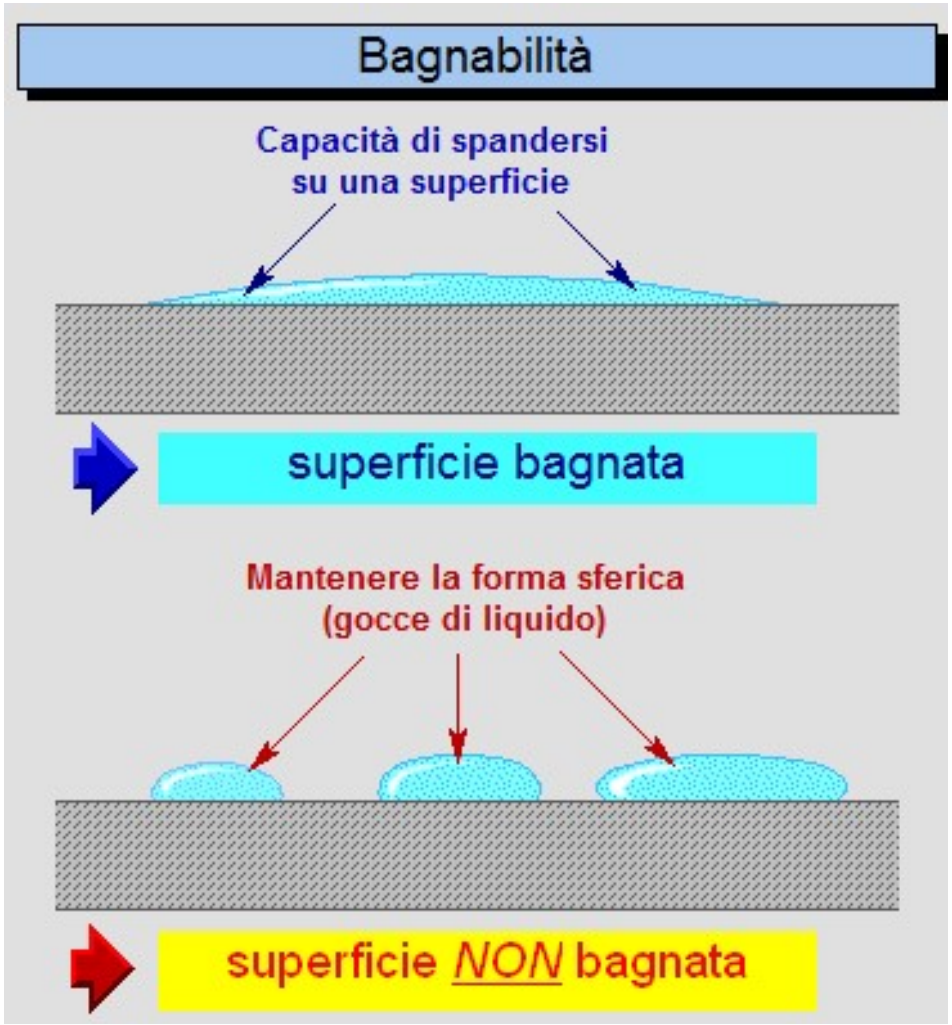
Nel S.I. si misura in [N/m].



Metodo PT – Bagnabilità

La tensione superficiale decresce all'aumentare della temperatura (essendo in funzione dell'energia cinetica delle molecole del liquido). A temperatura ambiente i penetranti comuni hanno una tensione superficiale di 0.025 ÷0.03 N/m.

La **bagnabilità** è l'attitudine al liquido di spandersi su una superficie anziché mantenere la forma sferica.



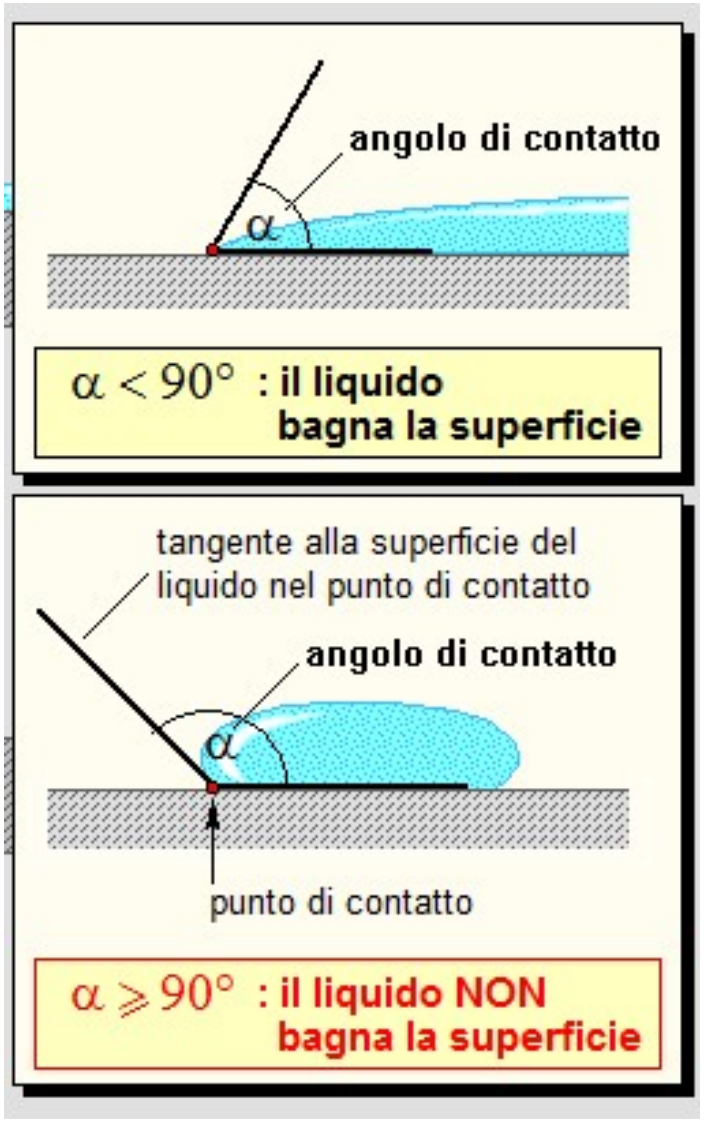
Metodo PT – Bagnabilità

Consideriamo una goccia di liquido su di una superficie solida e l'angolo (α) che la superficie del liquido forma con la superficie di appoggio nel punto di contatto:

- se è uguale o maggiore di 90° si dice che il liquido **non bagna** la superficie;
- se è minore di 90° si dice che il liquido **bagna** la superficie.

Bagnabilità e **tensione superficiale** sono pertanto due proprietà che agiscono in senso opposto: ad una alta tensione superficiale corrisponde una bassa bagnabilità e viceversa.

Quando si raggiunge α ≈ 180° il liquido tende a scorrere Sulla superficie senza bagnarla (questo accade per il Mercurio oppure con superfici di materiali scarsamente bagnabili come ad esempio superfici lucide e cerate. **Per questo è fondamentale eseguire sempre una buona pulizia e sgrassaggio.**



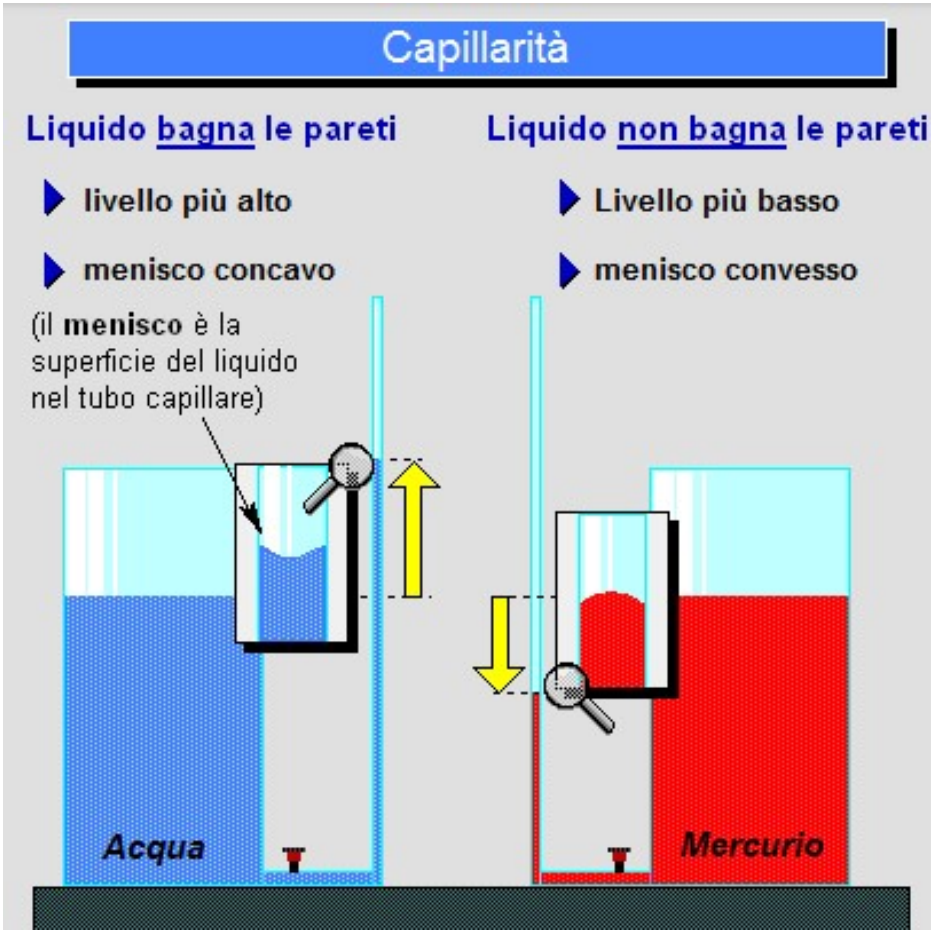
Metodo PT – Capillarità

La capillarità è un fenomeno che denota la tendenza di un liquido a salire entro un tubo capillare (Φ< 0,1 mm).

Per i liquidi ad alta tensione superficiale le forze di coesione prevalgono ed il liquido stenta a bagnare la superficie; di conseguenza si formerà un menisco convesso mentre il livello dentro il capillare si abbassa.

Al contrario per i liquidi a bassa tensione superficiale prevalgono le forze di adesione alla superficie ed il liquido tende a salire per aumentare la superficie bagnata.

Tuttavia in ciascuno dei 2 casi la colonna d'acqua (in negativo o positivo) produce alla base del livello di riferimento del pelo libero una pressione che bilancia tali forze.



Metodo PT – Viscosità e punto di infiammabilità

La viscosità è la caratteristica dei liquidi che si riferisce all'attrito tra le molecole del liquido stesso che ne limita il movimento.

In pratica, quindi, la viscosità indica la capacità di un liquido di scorrere su una superficie. Maggiore è la viscosità più lento risulterà il movimento.

Un penetrante con **viscosità elevata** impiegherà pertanto più tempo per penetrare nelle discontinuità, allungando i tempi dell'esame.

Nel processo PT la viscosità non influenza la sensibilità d'esame ma influisce sulla velocità di penetrazione e rivelazione delle discontinuità. I penetranti hanno una viscosità variabile tra 5 e 10 cst alla temperatura di 38° .

PUNTO DI INFIAMMABILITA'

Indica la temperatura alla quale il penetrante deve essere riscaldato , in determinate condizioni, per produrre vapore in quantità sufficiente a formare con l'aria una miscela infiammabile.

La norma attuale prevede che il punto di infiammabilità sia non inferiore a 80 ° C.

Metodo PT – Altre proprietà

INERZIA CHIMICA
Il penetrante non deve reagire né precipitare , né formare composti con le sostanze con cui viene a contatto.

LIVELLO DI TOSSICITA'
Non esistono particolari limitazioni dal punto di vista della **tossicità** salvo quella di utilizzare una maschera durante l'uso dello sviluppatore se si opera in ambienti chiusi.

In merito all'**irritabilità cutanea** è bene evitare il contatto dei liquidi con la pelle onde evitare fastidiose irritazioni.

DENSITA'
La densità è la massa volumica espressa come unità di massa/volume.
I penetranti hanno in genere una massa volumica di 0,9 Kg/dm^3.

Metodo PT – Altre proprietà

TENSIONE DEL VAPORE

E’ rappresentata dalla pressione del suo vapore in presenza del liquido stesso, ossia la pressione del vapore quando coesistono le due fasi liquido e vapore.

Un termine significativo equivalente è la volatilità intesa come la tendenza di un liquido a volatilizzare.

Poiché la volatilità aumenta con l’aumentare della temperatura si pongono dei limiti a quest’ultima, in genere i penetranti non devono superare in esercizio i 50° .

Inoltre è desiderabile che i vari componenti del penetrante abbiano volatilità pressappoco uguali allo scopo di mantenere immutata la composizione originale.

Metodo PT – Sensibilità d'esame

L'esame con i liquidi penetranti risulta tanto più **sensibile** quanto più piccola e sottile è la discontinuità che può essere rilevata.

La **capacità di penetrazione** diminuisce però quanto più al penetrante sono state aggiunte sostanze, quali pigmenti colorati o fluorescenti e l'emulsificatore, che rendono il prodotto più "carico" e quindi di più difficoltosa introduzione nelle fenditure sottili.

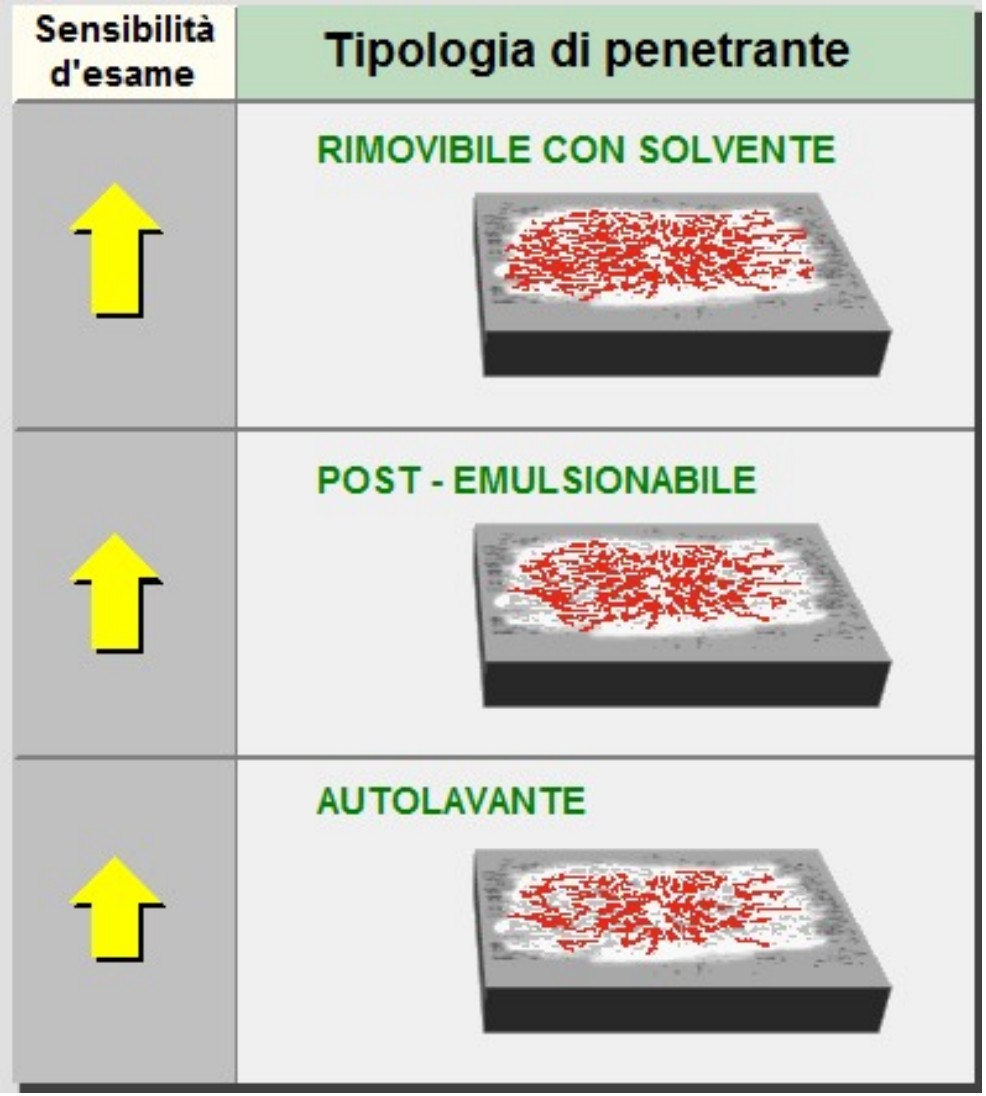
I penetranti **fluorescenti** sono superiori a quelli **colorati**, poiché richiedono una minore quantità di sostanza fluorescente, rispetto a quella colorata, per assicurare la visibilità, il che assicura una mobilità superiore che permette un più facile inserimento in fenditure sottili..



Metodo PT – Sensibilità d'esame

In base a quanto detto in merito alle aggiunte di sostanze, si può affermare che:

- i penetranti **rimovibili con solvente**, essendo i meno carichi, sono quelli che presentano la più alta sensibilità;
- i penetranti **lavabili con acqua**, essendo i più carichi, sono quelli che presentano la più bassa sensibilità;
- i penetranti post-emulsionabili rappresentano una via di mezzo.



Metodo PT – Rivelatori

CLASSIFICAZIONE ISO 3452-1

- Forma a – Secco (non per penetranti colorati)
- Forma b – Solubile in acqua
- Forma c – Sospendibile in acqua
- Forma d – A base solvente (umido non acquoso)
- Forma e – Per impieghi speciali (es. sviluppatore ad esfoliazione)

Metodo PT – Rivelatori

I rivelatori provocano la fuoriuscita del penetrante dalle discontinuità, realizzando uno strato sulla superficie del pezzo in cui sono presenti condotti di piccolissima sezione.

La fitta rete di canalini è creata dalle minutissime particelle di sostanze a base di talco, gesso o silice amorfa, di cui è costituito il rivelatore.

Il liquido penetrante presente nelle discontinuità si inserisce entro i canalini per **capillarità**, diventando così visibile sulla superficie del pezzo.

In linea generale, i produttori forniscono per ogni tipo di liquido penetrante il rivelatore adatto.

Metodo PT – Classificazione dei rivelatori

Esistono tre tipologie di rivelatori:

- **rivelatori a secco** – sono costituiti da polvere finissima a base talco, gesso o silice amorfa, applicata sul pezzo asciutto tramite soffietto o immersione. L'eccesso di polvere deve essere asportato con un leggero soffio d'aria. *Si prestano all'esame dei pezzi grezzi e sono adatti per rilevare discontinuità profonde contenenti parecchio penetrante. Non sono adatti per discontinuità molto sottili e poco profonde. Assicurano una elevata sensibilità* (granulometria 2 ÷4 µm);

- **rivelatori in acqua (umidi acquosi)** – contengono dispersa o disciolta in acqua la polvere assorbente. Dopo l'applicazione è necessario attendere che l'acqua si asciughi, dopo di che presenta le stesse caratteristiche del rivelatore a secco, ma con *una minore sensibilità a causa della minore definizione della traccia della discontinuità*. L'applicazione può avvenire per immersione o a spruzzo ed in alcuni casi anche a pennello (concentrazione 40 ÷110 gr per litro);

Metodo PT – Classificazione dei rivelatori

➢ **rivelatori in solvente (umidi non acquosi)** - contengono dispersa o disciolta in un solvente la polvere assorbente.
Permettono di ottenere la più alta sensibilità infatti l'azione diluente del solvente nei confronti del penetrante ne facilita l'uscita. L'applicazione è fatta mediante spruzzo.

Non richiedono successiva essicazione a causa della forte evaporazione del solvente. La loro applicazione è agevole anche su superfici verticali. Normalmente vengono forniti in bombolette spray che richiedono di essere agitate prima dell'uso.

Il propellente oggigiorno è CO_2 prima era il Freon abbandonato a causa dei problemi ecologici e perché contenente cloro e fluoro.

Metodo PT – Rivelatori

Devono possedere le seguenti caratteristiche:

- essere facilmente applicabili;
- avere un'alta capacità di assorbimento;
- fornire un colore di sottofondo ben contrastante, se utilizzati con i liquidi colorati;
- non essere fluorescenti, se utilizzati con i liquidi fluorescenti;
- potersi diffondere facilmente sulla superficie (bagnabilità elevata);
- essere facilmente rimovibili dopo l'ispezione;
- essere inerti e non tossici;
- non essere infiammabili.

Metodo PT – Ispezione

L’esame con liquidi penetranti richiede condizioni controllate per la visualizzazione delle indicazioni, per esempio:

-luce bianca (luce diurna o emessa dalle normali lampade) sufficiente ad ottenere una prova affidabile con le tecniche a contrasto di colore;

- adeguato irradiamento UV-A con luce minima per i sistemi a fluorescenza.

TECNICHE A CONTRASTO DI COLORE

Sorgenti luminose
L'ispezione deve essere eseguita alla luce solare o con illuminazione artificiale. Non si devono utilizzare sorgenti monocromatiche quali le lampade al sodio.

La superficie di prova deve essere illuminata in modo uniforme. Si devono evitare bagliori e riflessi.

Misurazioni
L'illuminamento sulla superficie di prova deve essere determinato nelle condizioni operative per mezzo di un misuratore di illuminamento (Luxmetro).

Requisiti
L'illuminamento sulla superficie di prova deve essere:
ISO 3059 – minimo 500 Lux

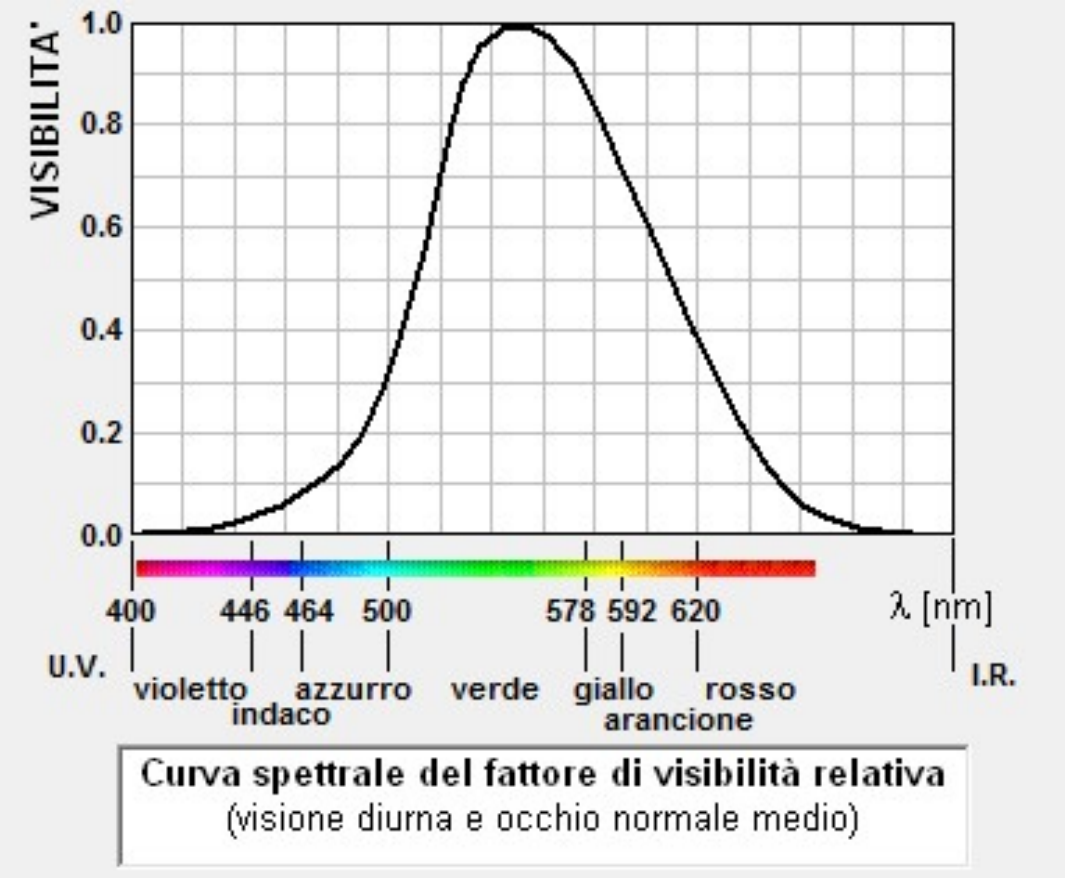
PERCEZIONE DEI COLORI

L'occhio non percepisce i colori nello stesso modo ma ha una **sensibilità massima** per le radiazioni giallo-verdi (emessa ad esempio dai rivelatori magnetici fluorescenti).

La percezione dei colori da parte dell'occhio varia al variare dell'illuminazione:

- aumentando l'illuminazione aumenta la percezione della differenza di colore e diminuisce la capacità di individuare piccole fonti di luce (visione fotopica);

- diminuendo l'illuminazione diminuisce la percezione delle variazioni di colore, ma aumenta l'abilità a distinguere piccole fonti di luce (visione scotopica).



Curva spettrale del fattore di visibilità relativa
(visione diurna e occhio normale medio)

TECNICHE A FLUORESCENZA

Radiazione ultravioletta

La prova deve essere eseguita con radiazione UV-A (da 315 nm a 400 nm) usando una sorgente con un'intensità massima nominale a 365 nm.

L'irradiamento UV-A può variare con il tempo a causa, per esempio, dell'invecchiamento della lampada o del deterioramento del riflettore o del filtro. È importante minimizzare la luce di fondo visibile incidente sul componente o che raggiunge gli occhi dell'ispettore direttamente dalla lampada UV-A o come conseguenza di un’insufficiente schermatura di altre sorgenti.

Misurazioni

L'irradiamento UV-A deve essere misurato nelle condizioni operative sulla superficie di prova per mezzo di un misuratore di irradiamento UV-A (radiometro).

Le misurazioni devono essere eseguite quando l'emissione della lampada si è stabilizzata (non meno di 5 minuti dopo l'accensione).

Metodo PT – Ispezione

Requisiti

Sulla superficie di prova l'irradiamento UV-A deve essere:
ISO 3059 - maggiore di 10 W/m^2 (1.000 µW/cm^2)

mentre l'illuminamento deve essere:
ISO 3059 - minore di 20 Lux

Le misurazioni devono essere eseguite nelle condizioni operative con la sorgente UV-A accesa e stabilizzata. Non deve sussistere bagliore o altra sorgente di luce visibile o radiazione UV-A nel campo visivo dell'operatore.

Alle stazioni di lavaggio del penetrante deve essere fornito sulle parti un irradiamento UV-A di almeno 3 W/m^2 (300 µW/cm^2), e l'illuminamento deve essere minore di 150 Lux.

Metodo PT – Lampada di Wood

La **fluorescenza** è un particolare fenomeno presentato da certe sostanze (usualmente complesse molecole di sali) che quando irradiate da raggi UV passano ad uno stato energetico superiore, ma instabile. In brevissimo tempo ritornano allo stato stabile cedendo energia. L'energia viene riemessa sottoforma di radiazione nel campo visibile.

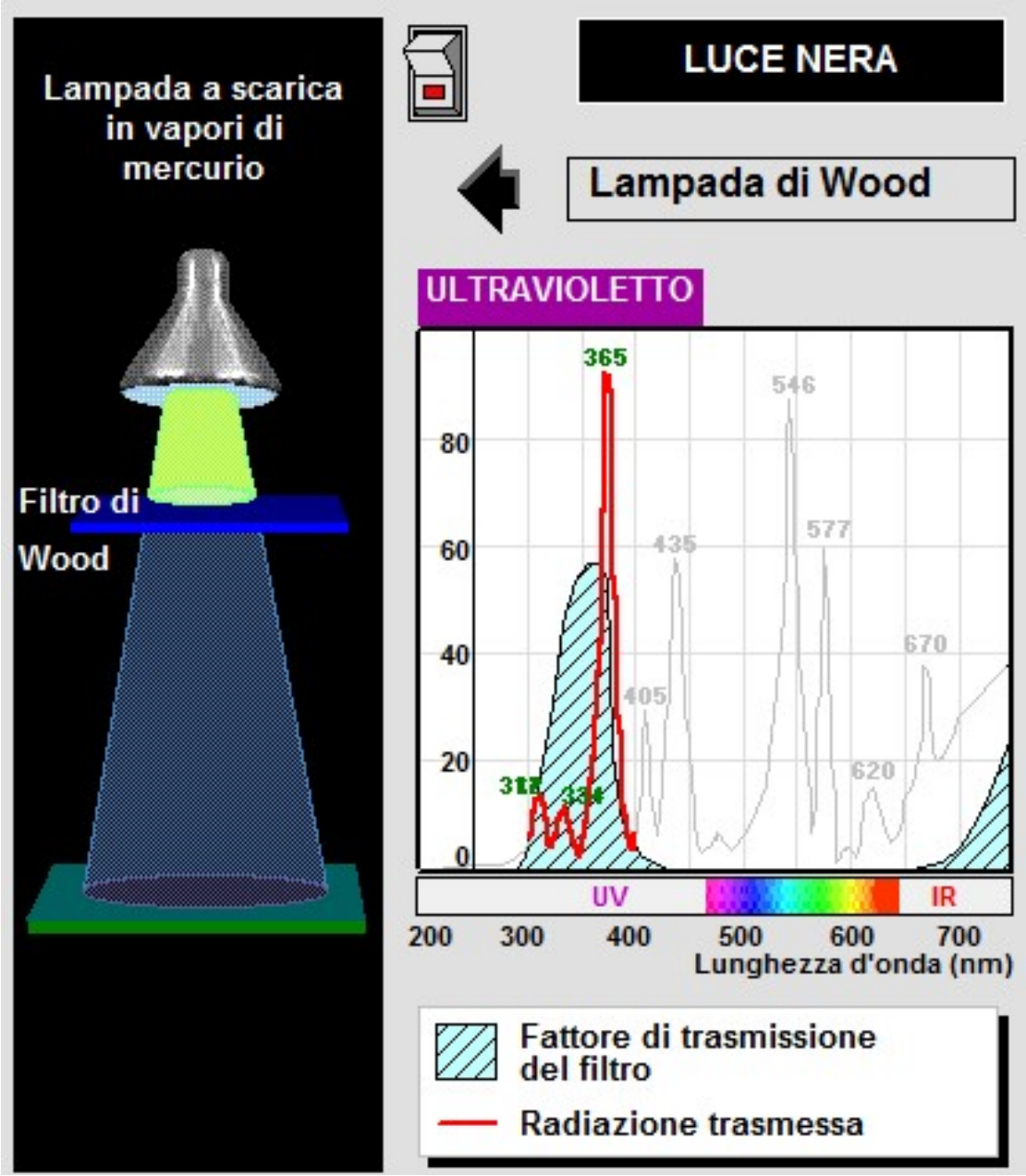
La **luce nera** si ottiene filtrando la radiazione emessa da una lampada a scarica in vapori di mercurio.

Queste lampade presentano uno spettro di emissione composto da diverse righe comprese tra l'ultravioletto ed il visibile.

Metodo PT – Lampada di Wood

Filtrando in modo opportuno le radiazioni comprese ne I campo visibile e nell'ultravioletto lontano si lasciano passare solo le radiazioni comprese tra 300 e 400 nm circa.

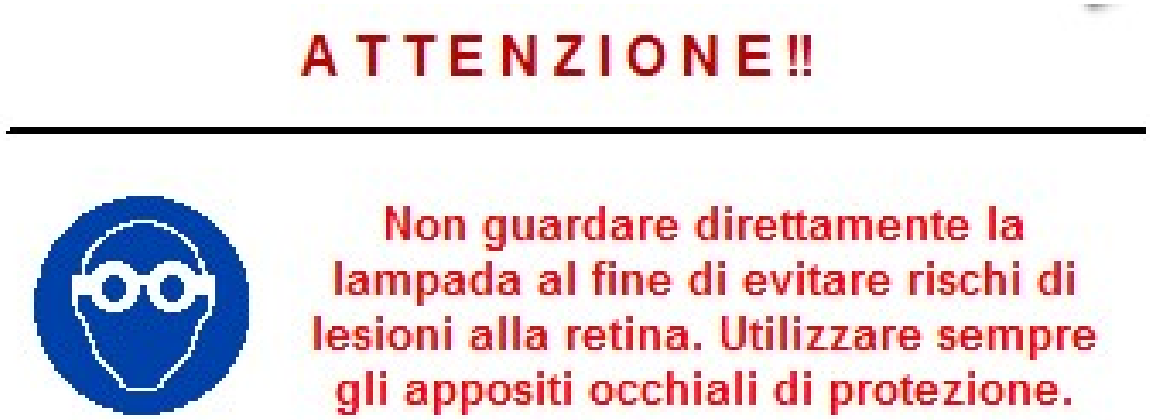
Questo filtro è detto filtro di Wood ed una lampada con le caratteristiche illustrate è detta **lampada di Wood**.



Metodo PT – Lampada di Wood

L’ASME V prescrive di verificare l’intensità delle lampade a luce nera ogni 8 ore di funzionamento con uno strumento centrato a 365 nm.

Per avere una buona percezione dei segnali occorre tenere la lampada ad una distanza dal pezzo adeguata alla potenza della lampada. Con lampade usuali, della potenza di 100 W, la distanza deve risultare all’incirca di 40 cm.



Metodo PT – Pratica dell'esame

Prima di procedere con il controllo è necessario un attento **esame del pezzo** e della **documentazione** ad esso allegata, allo scopo di ottenere utili informazioni per la scelta del metodo d'esame e del tipo di liquido nonché sulle eventuali discontinuità da attendersi.



Metodo PT – Pratica dell'esame

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- UNI EN ISO 3452-1 "Esame con L.P. – Principi generali"
- UNI EN ISO 3059 "Esame con L.P. – Condizioni di visione"
- UNI EN ISO 3452-2 "Esame con L.P. – Prove dei materiali"
- UNI EN ISO 3452-3 "Esame con L.P. – Blocchi di riferimento per le prove"
- UNI EN ISO 3452-4 "Esame con L.P. – Attrezzatura"
- UNI EN ISO 3452-5 "Esame con L.P. – Prove a temperature maggiori di 50° C"
- UNI EN ISO 3452-6 "Esame con L.P. – Prove a temperature minori do 10° C"
- UNI EN ISO 23277 "Controllo delle saldature mediante L.P. – Livelli di accettabilità"
- UNI EN 10228-2 "Fucinati di acciaio – Controllo mediante L.P."

Metodo PT – Pratica dell'esame

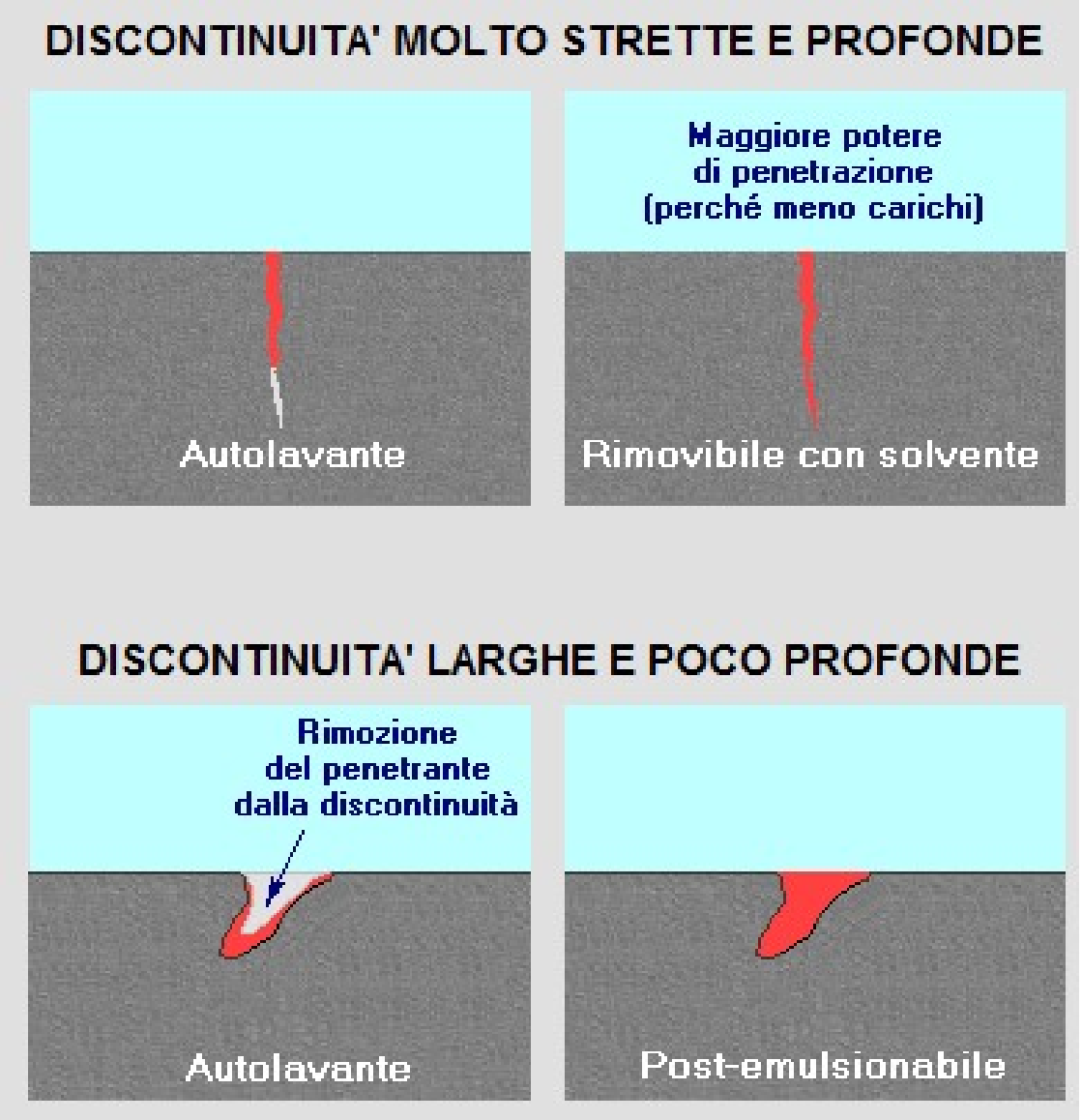
SCELTA DEL METODO E DEL TIPO DI LIQUIDO

➢ I **liquidi fluorescenti** offrono una sensibilità superiore a quella dei liquidi colorati e quindi sono da preferire quando è richiesta una sensibilità elevata. Per contro, va tenuto presente che essi richiedono l'utilizzo della lampada di Wood e di un ambiente buio e ciò ne rende impossibile a volte l'impiego.

➢ Tra i **liquidi colorati** i più pratici da utilizzare sono gli **autolavanti**, disponibili anche in comode bombolette spray. Essi offrono una sensibilità media, sufficiente in gran parte delle applicazioni.

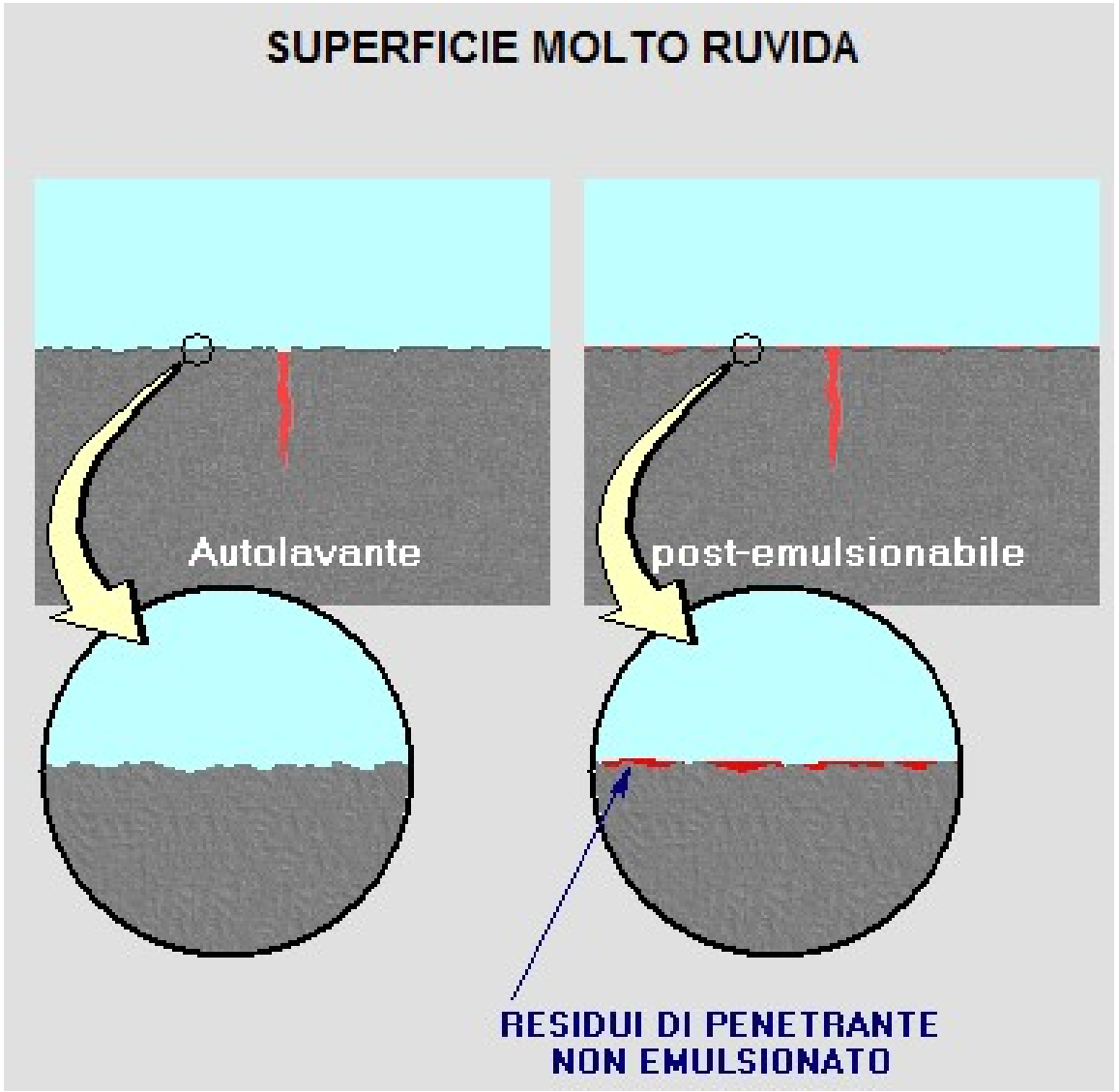
Metodo PT – Pratica dell'esame

- Per la **rilevazione di discontinuità** molto strette sono da preferire i **liquidi rimovibili con solvente**, mentre per discontinuità larghe e poco profonde i più adatti sono i **post-emulsionabili**; gli autolavanti potrebbero essere rimossi durante l'asportazione del penetrante.



Metodo PT – Pratica dell'esame

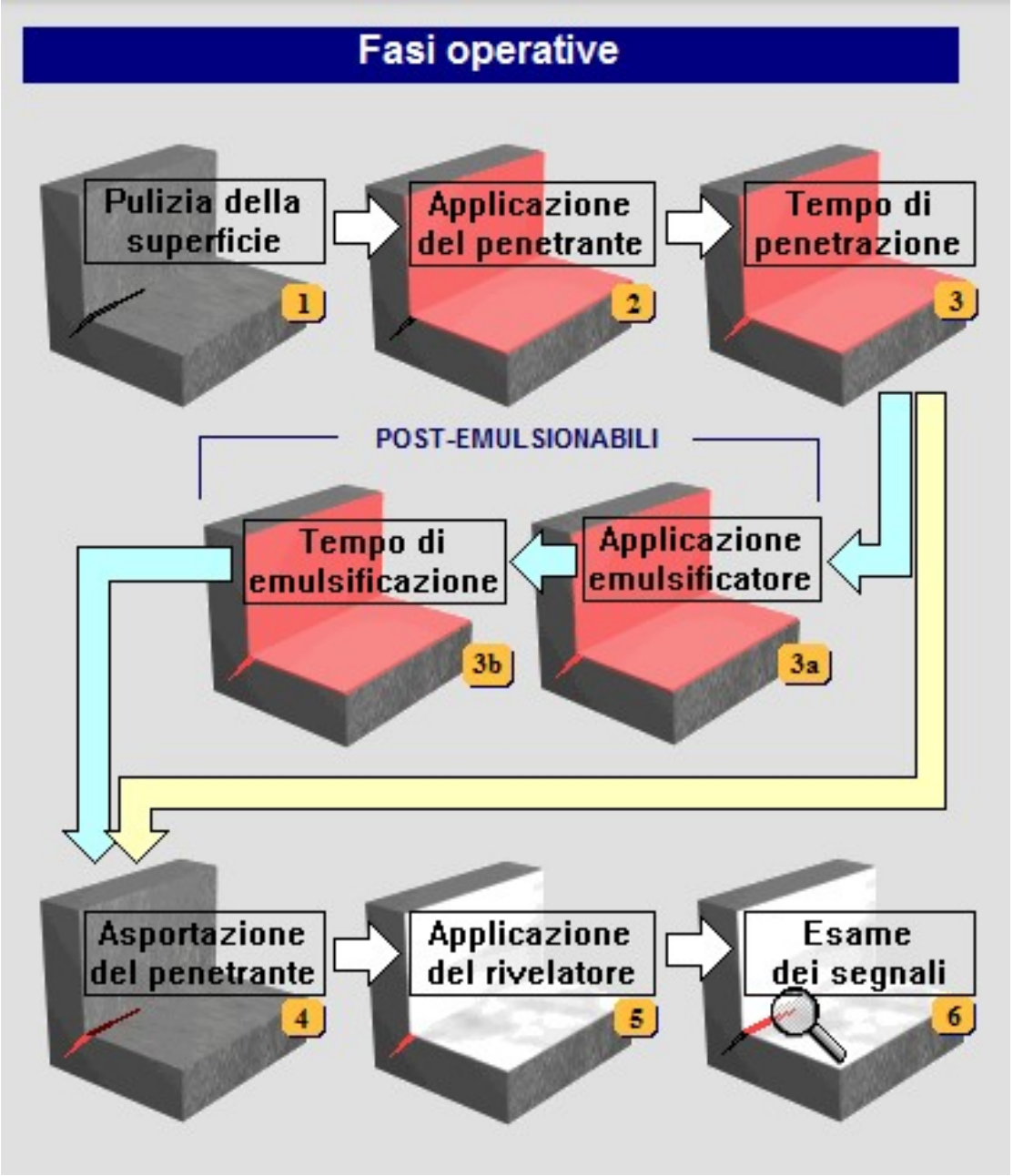
- Se il pezzo ha la **superficie molto ruvida** è preferibile utilizzare gli autolavanti poiché i post-emulsionabili potrebbero presentare difficoltà durante la fase di asportazione dalla superficie



Metodo PT – Pratica dell'esame

FASI OPERATIVE

Le fasi sono sostanzialmente identiche per i vari tipi di liquidi, salvo per i post-emulsionabili che prevedono due fasi in più.



Metodo PT – Preparazione superficiale

La pulizia è fondamentale per assicurare l'efficacia dell'esame.

La superficie da esaminare deve essere esente da impedimenti vari quali scaglie, ossidi, calamina, strati di grasso, olio, rivestimenti galvanici come nichelatura, cromatura e strati di vernice.

Per l'asportazione di tali impedimenti sono utilizzabili i seguenti metodi:

SGRASSAGGIO con vapori di H_2O o opportuni solventi (usati in passato vapori di triclorene comunemente chiamata trielina, problemi di tossicità elevata e anche per lo scarico di liquidi reflui).

LAVAGGIO CON SOLVENTI O DETERGENTI LIQUIDI
Può essere reso efficace almeno quanto i vapori con l'agitazione dei bagni mediante ultrasuoni. L'attuale tendenza è quella di usare detergenti basici (es. soda acustica). In campo nucleare o per l'esame di acciai austenitici non sono ammessi solventi clorurati in luogo vengono impiegati l'acetone (con certa cautela per la sua tossicità e l'alcool isopropilico).

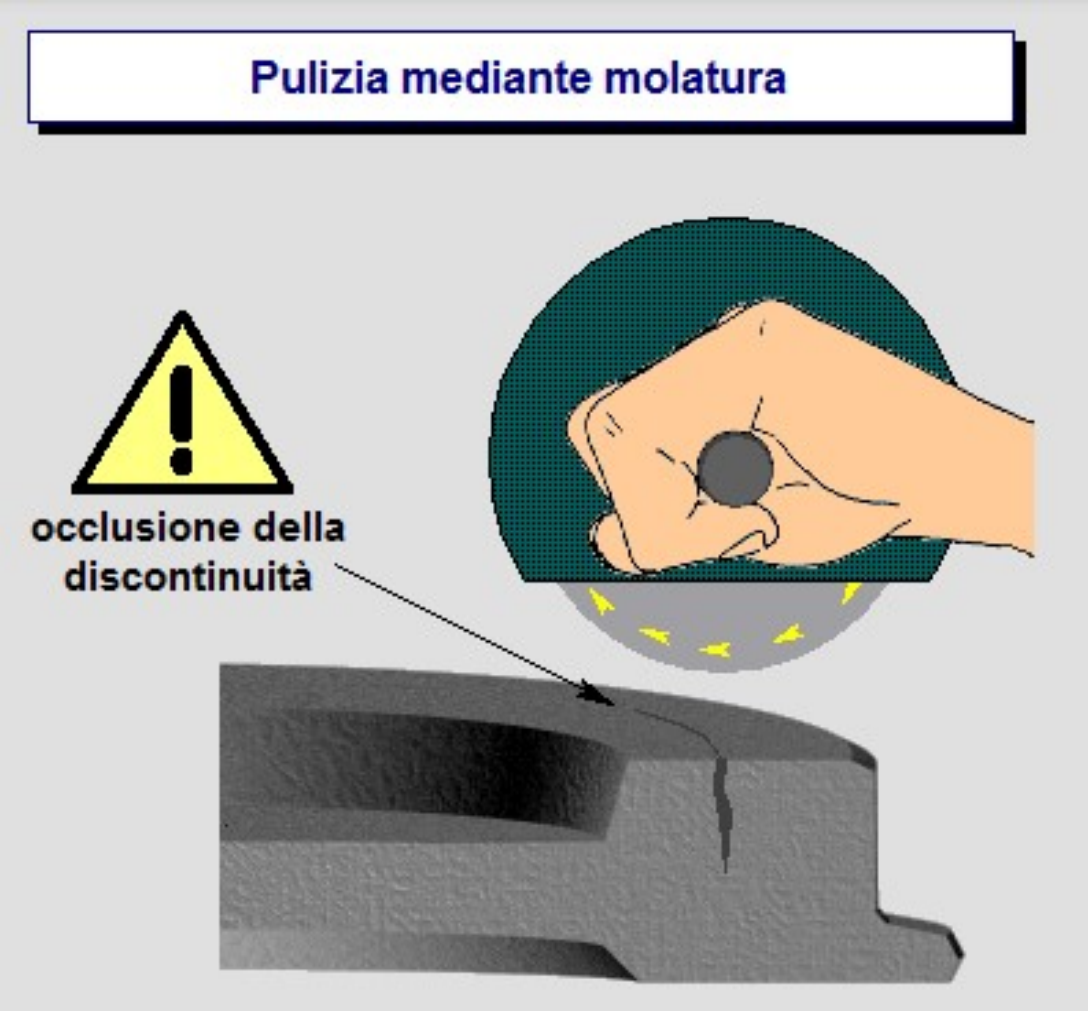
Metodo PT – Preparazione superficiale

SVERNICIATURA

Eseguita con prodotti chimici o mediante abrasione meccanica se richiesto procedere con risciacquo ed essiccazione.

AZIONE MECCANICA

Sabbiatura, pallinatura, granigliatura e molatura possono essere utilizzati, ma con molta cautela poiché potrebbero causare la sigillatura di discontinuità sottili a causa del ricalcamento dei loro bordi provocato dall'azione di martellamento della superficie. In alcuni casi è necessario far seguire un attacco chimico (decapaggio) al fine di eliminare l'eventuale materiale ricalcato sulla discontinuità.



Metodo PT – Applicazione del penetrante

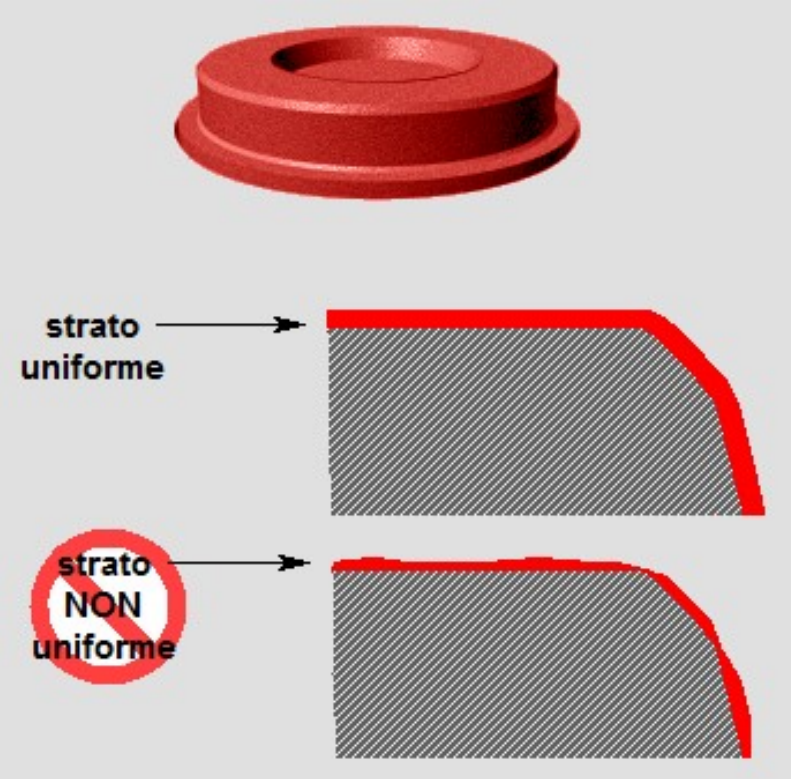
Il penetrante può essere applicato con un pennello, a spruzzo (spray), mediante immersione o sistema elettrostatico. In ogni caso esso deve formare uno strato uniforme, esteso su tutta la superficie da esaminare.

Il tempo di penetrazione è in media 10 minuti.
Per **ISO 34521-1** deve essere compreso tra 5 e 60 minuti-
Per **ASME V** deve essere di 5 minuti per fusioni e saldature, 10 minuti per lamiere, forgiati ed estrusi.

Nell'applicazione per immersione si distinguono il tempo di immersione vero e proprio ed il tempo di drenaggio (o sgocciolamento).

T penetrazione = T immersione + T di drenaggio

Per tempi di drenaggio superiori a 2 ore si deve ripetere l'applicazione del penetrante. Il tempo di immersione non deve superare la metà del tempo totale di penetrazione.



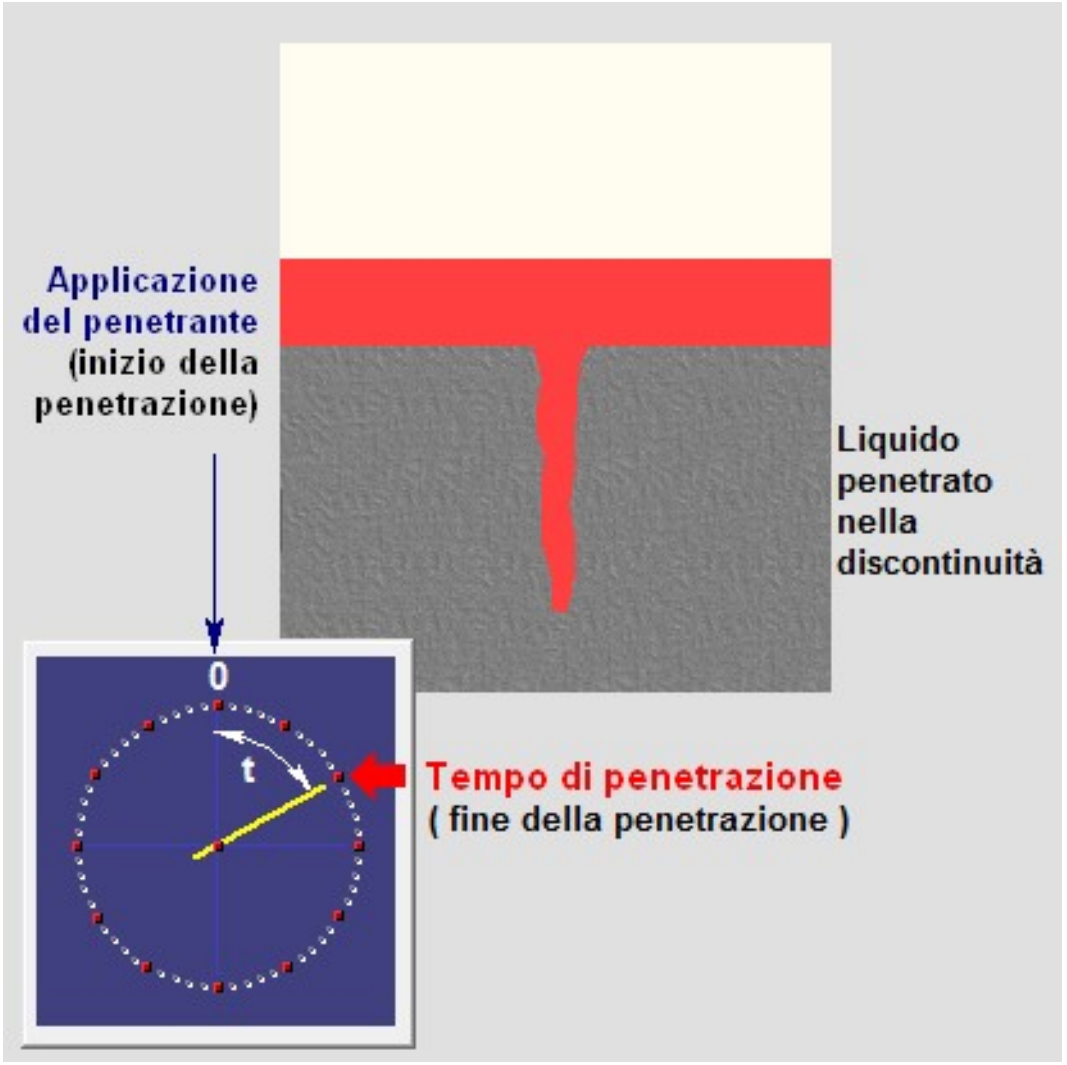
Metodo PT – Applicazione del penetrante

Applicato il penetrante è necessario lasciar passare un certo tempo affinchè esso possa inserirsi e riempire le eventuali discontinuità.

Questo tempo è chiamato **tempo di penetrazione**.

Ovviamente i maggiori tempi di penetrazione sono richiesti da discontinuità molto sottili o di grandi dimensioni.

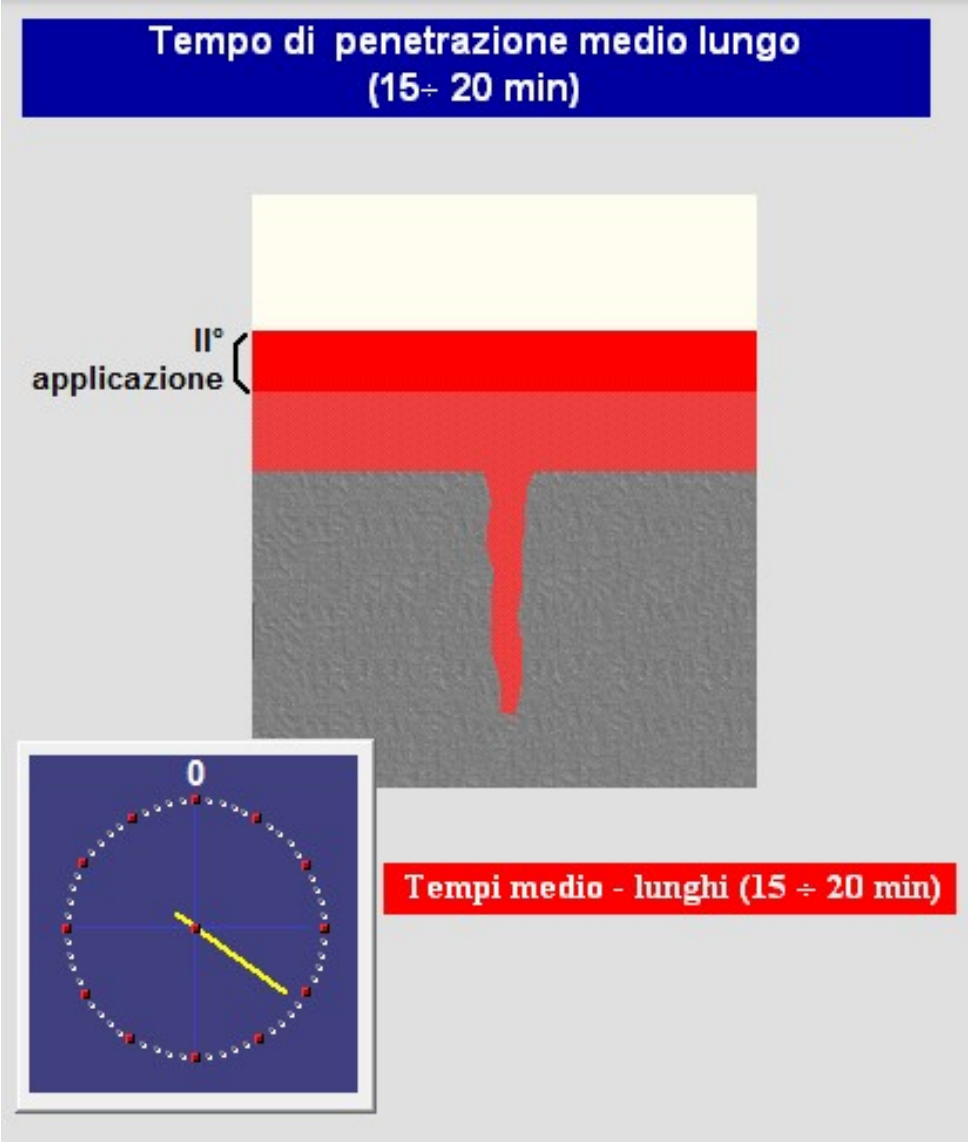
In generale i tempi richiesti dal controllo di **saldature** sono superiori a quelli richiesti dal controllo di getti (per il tipo di discontinuità attese).



Metodo PT – Applicazione del penetrante

Il **tempo di attesa per la penetrazione** non deve prolungarsi oltre il necessario, altrimenti potrebbe verificarsi un inizio di essiccamento del penetrante e quindi una sua fuoriuscita più difficoltosa nella fase di assorbimento da parte del rivelatore.

Nel caso in cui il **tempo di penetrazione sia medio-lungo** (15-20 minuti) è bene eseguire una ulteriore applicazione per impedire l'essiccamento e favorire il riempimento di eventuali discontinuità.



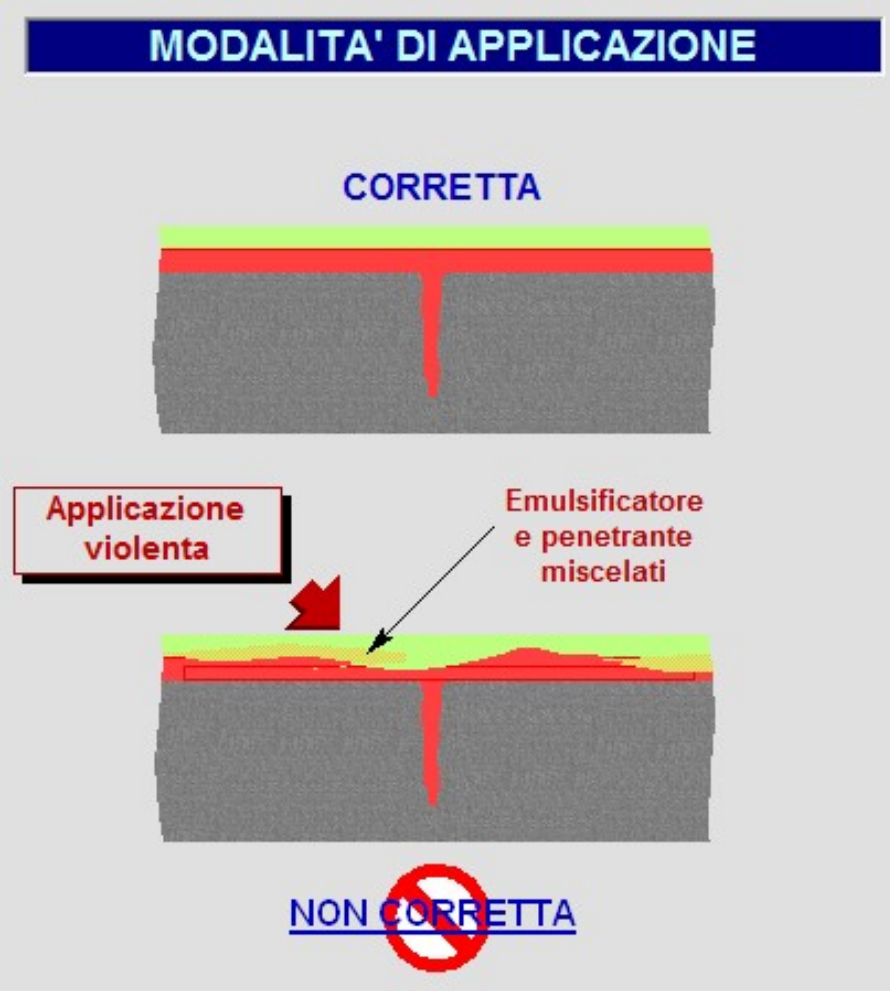
Metodo PT – Applicazione emulsificatore

Questa operazione consiste nell'applicare uno strato di agente emulsificante sopra lo strato di penetrante.

L'applicazione dell'agente emulsificante può essere fatta:

- a spruzzo
- per immersione
- versando l'emulsificatore sul pezzo

In ogni caso occorre evitare un'applicazione violenta, che potrebbe dar luogo ad un mescolamento dell'emulsificatore con il penetrante rendendo così difficile il controllo del tempo di emulsificazione; per questo motivo l'uso di prodotti spray è sconsigliato.

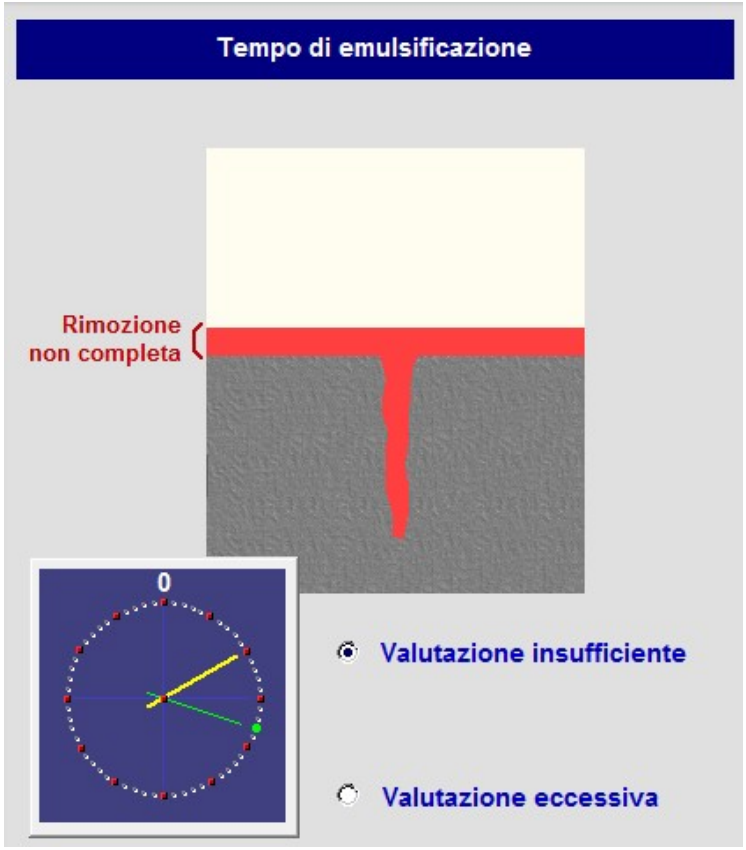


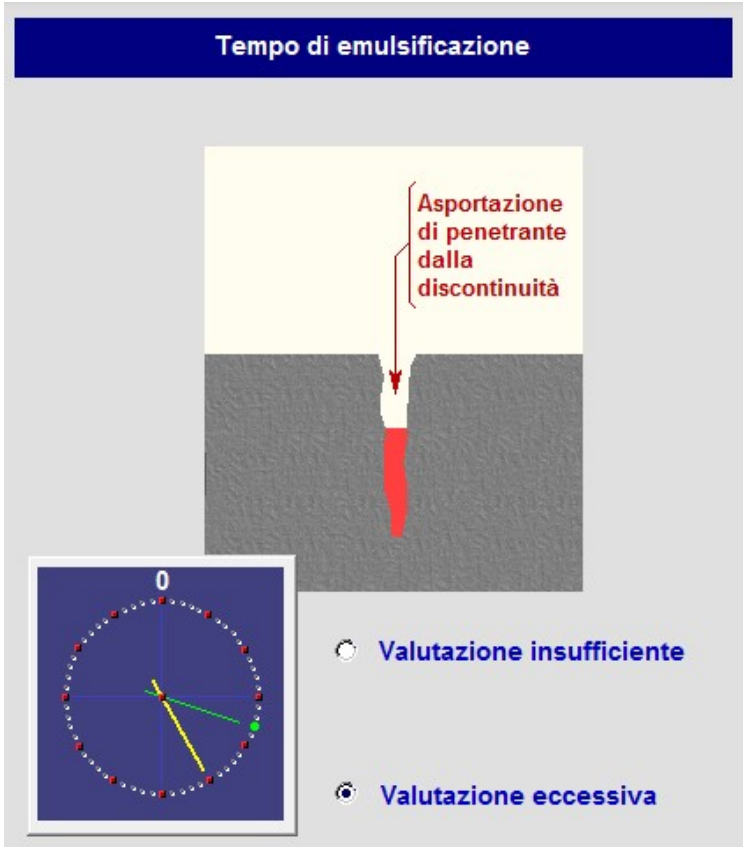
Metodo PT – Applicazione emulsificatore

Una volta applicato, l'emulsificatore inizia a diffondersi nel penetrante dirigendosi verso la superficie del pezzo. Lo strato di penetrante entro cui l'emulsificatore si è diffuso diventa così di tipo autolavante e si potrà rimuovere con l'acqua.

Il tempo di emulsificazione è un **tempo critico**. Se insufficiente non consente di rimuovere completamente il penetrante; se eccessivo porta ad asportare il penetrante da eventuali discontinuità (soprattutto larghe e poco profonde).

Per determinare esattamente il tempo di emulsificazione si può ricorrere alla realizzazione di un pezzo campione con il difetto tipo che si Intende cercare.



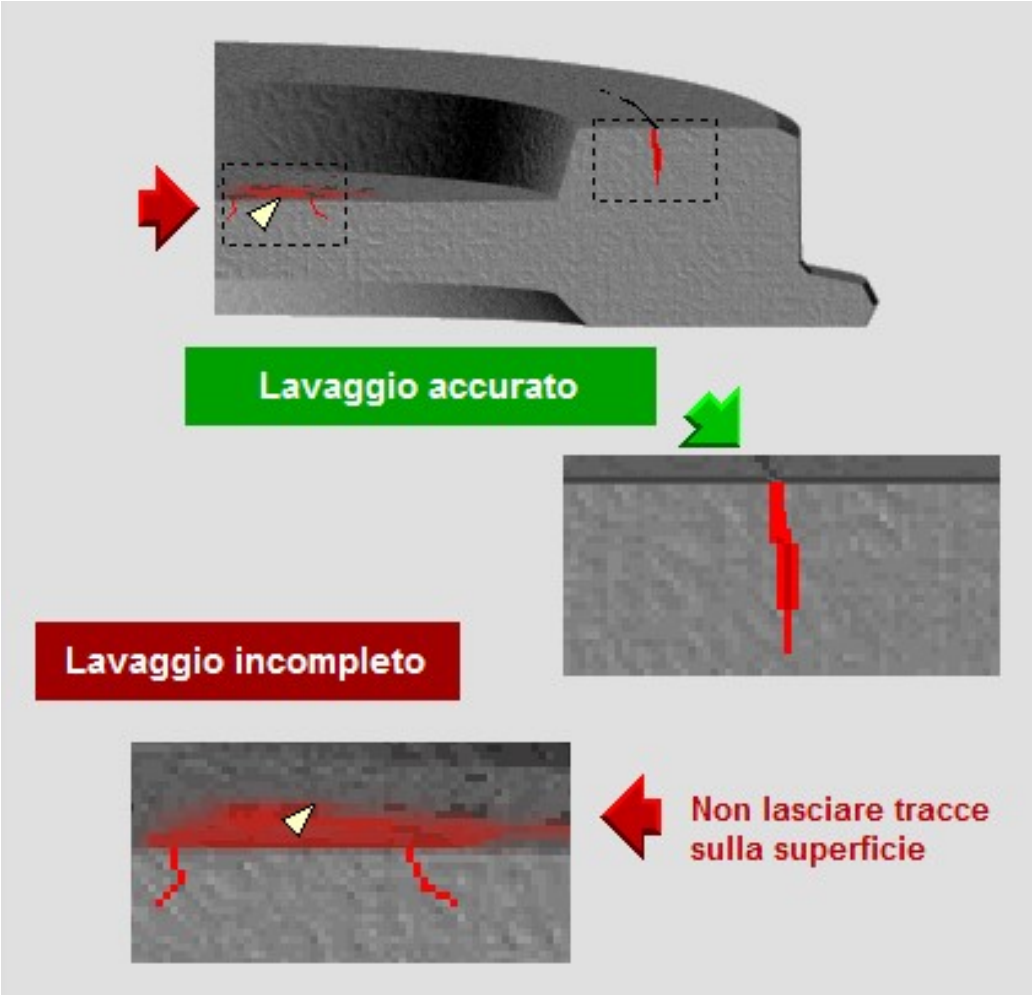


Metodo PT – Rimozione del penetrante in eccesso

Successivamente occorre rimuovere dalla superficie del pezzo il penetrante in eccesso. Il metodo di rimozione dipende dal tipo di penetrante utilizzato. In alcuni casi sarà sufficiente pulire con uno straccio o risciacquare con acqua, in altri casi sarà necessario l'utilizzo di un solvente.

L'uniforme eliminazione del penetrante in eccesso è necessaria per permettere un'ispezione efficace, tuttavia occorre evitare un eccesso di rimozione del penetrante, cosa che potrebbe compromettere l'esame.

Quando si opera con prodotti **fluorescenti** è bene che nella stazione di lavaggio ci sia una lampada di Wood per individuare residui di penetrante sul pezzo.



Metodo PT – Rimozione del penetrante in eccesso

PENETRANTI LAVABILI IN H_2O

Vengono puliti con un panno bagnato, o mediante un getto d'acqua a bassa pressione <275 KPa (~2.7 atm).

PENETRANTI POSTEMULSIONABILI LIPOFILICI (Ossia a base oleosa)

Vengono puliti mediante spruzzo di H_2O.

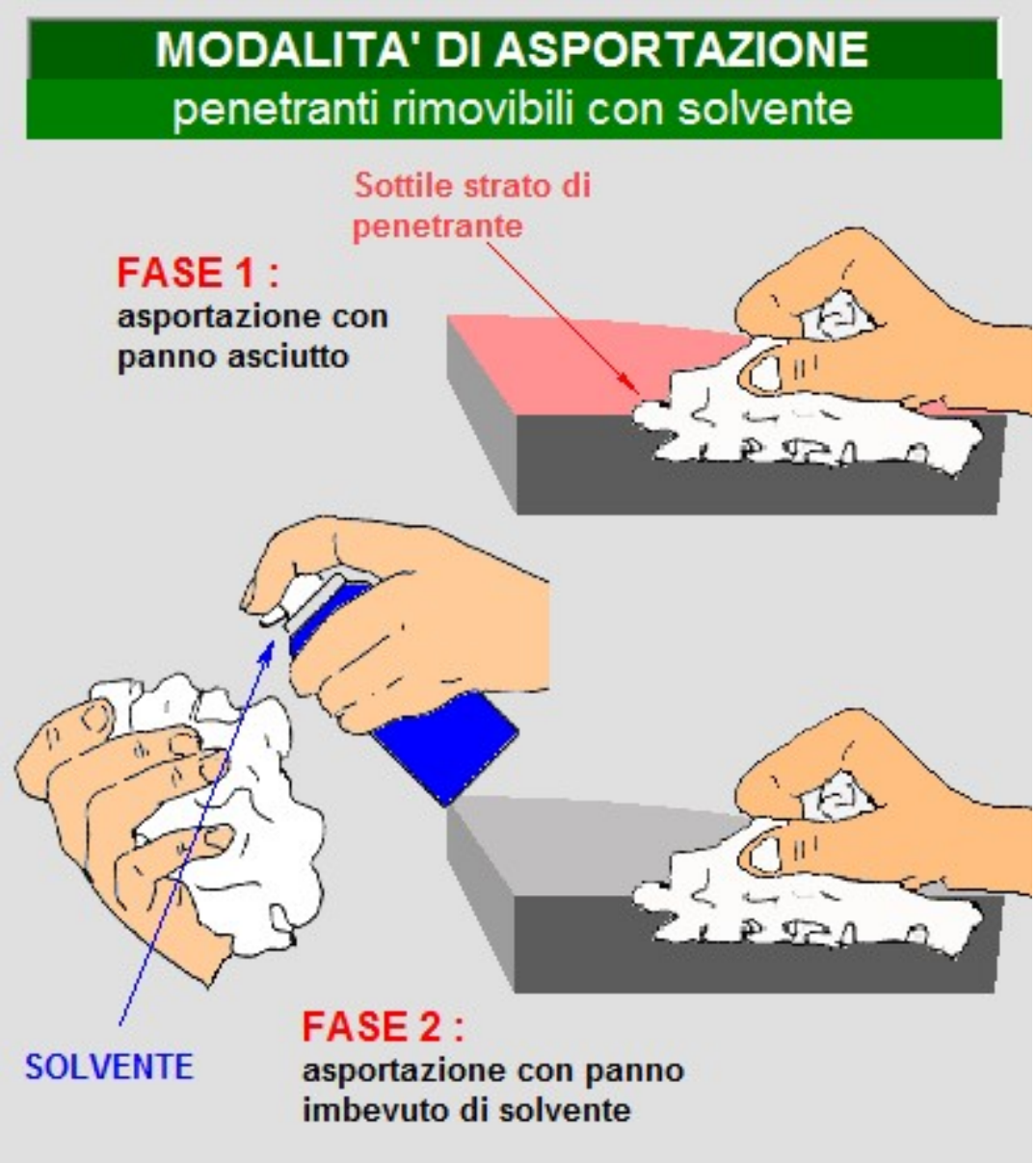
PENETRANTI POSTEMULSIONABILI IDROFILICI (Ossia a base acquosa)

Si sottopone il pezzo a un prerisciacquo energico, allo scopo di lavare grossolanamente il pezzo stesso. Poi viene applicato l'emulsificatore e risciacquato con l'acqua.

Metodo PT – Rimozione del penetrante in eccesso

PENETRANTI RIMOVIBILI CON SOLVENTE

Richiedono una prima asportazione con un panno asciutto sino a lasciare sulla superficie un sottilissimo strato residuo di penetrante.
Quest'ultimo viene poi rimosso tramite un altro panno pulito, imbevuto di solvente.
Va evitata l'applicazione diretta del solvente sulla superficie al fine di evitare possibili diluizioni del penetrante presente nelle discontinuità.



Metodo PT – Applicazione del rivelatore

Prima di applicare il **rivelatore** la superficie del pezzo deve essere asciugata perfettamente a meno che il rivelatore non sia del tipo “in acqua”, nel qual caso lo si può applicare direttamente dopo il lavaggio precedente.

L’**asciugatura della superficie** può essere accelerata con un getto d’aria calda tale però da non superare la temperatura prevista dalla normativa al fine di evitare principi di essiccamento del penetrante.

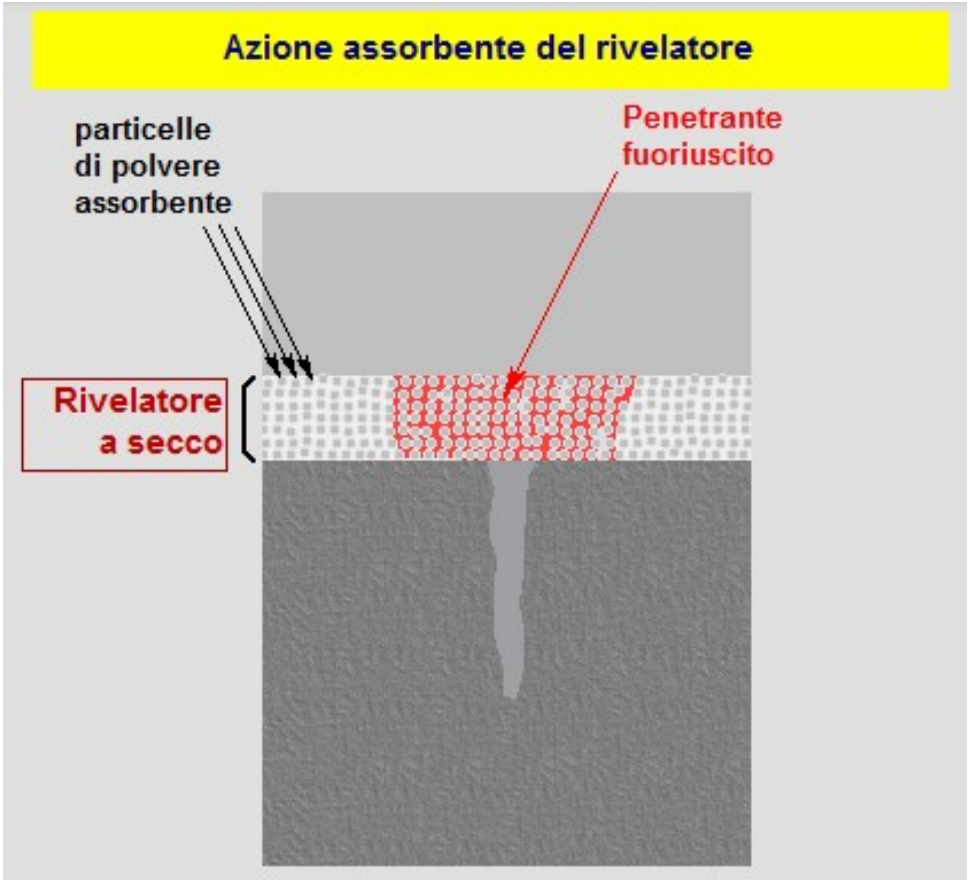
Il rilevatore deve essere applicato in modo da formare un film sottile ed uniforme sulla superficie sottoposta a prova.

Il rivelatore può essere applicato con diverse modalità in relazione al tipo:

- rivelatori in acqua – per immersione o con pennello
- rivelatori in solvente – a spruzzo o con pennello
- rivelatori a secco (in polvere) – con soffietto o distributore ad aria compressa

Metodo PT – Applicazione del rivelatore

Il rivelatore favorisce la naturale fuoriuscita del penetrante dalle discontinuità affioranti in superficie, con l'effetto di ingrandire notevolmente la grandezza apparente del difetto.



RIVELATORE A SECCO

Polveri di talco, gesso o silice amorfa.
L'azione assorbente del rivelatore inizia immediatamente dopo la sua applicazione.

RIVELATORE IN SOLVENTE

L'azione assorbente del rivelatore inizia Subito dopo l'evaporazione del solvente (quasi istantanea).

RIVELATORE IN ACQUA

L'azione assorbente del rivelatore inizio solo dopo l'evaporazione dell'acqua. Possono essere riscaldati con aria calda, non in pressione, al fine di aumentare la velocità del processo spontaneo di asciugatura, di per sé piuttosto lento.

Metodo PT – Ispezione

L'**esame dei segnali** deve avere inizio subito dopo l'applicazione del rivelatore affinchè la fuoriuscita del penetrante da discontinuità di una certa consistenza non copra le indicazioni più piccole.

Il **tempo di rilevazione** varia a seconda delle normative di riferimento:
• ISO 3452-1 da 10 a 30 minuti

ISPEZIONE (luce bianca o luce nera)
Dal passaggio da luce bianca a luce nera deve essere dato il tempo all'operatore di adattarsi alle nuove condizioni; almeno 5 minuti.

OSSERVAZIONE IN LUCE BIANCA
Sul piano di lavoro almeno 500 Lx per ISO 3452-1

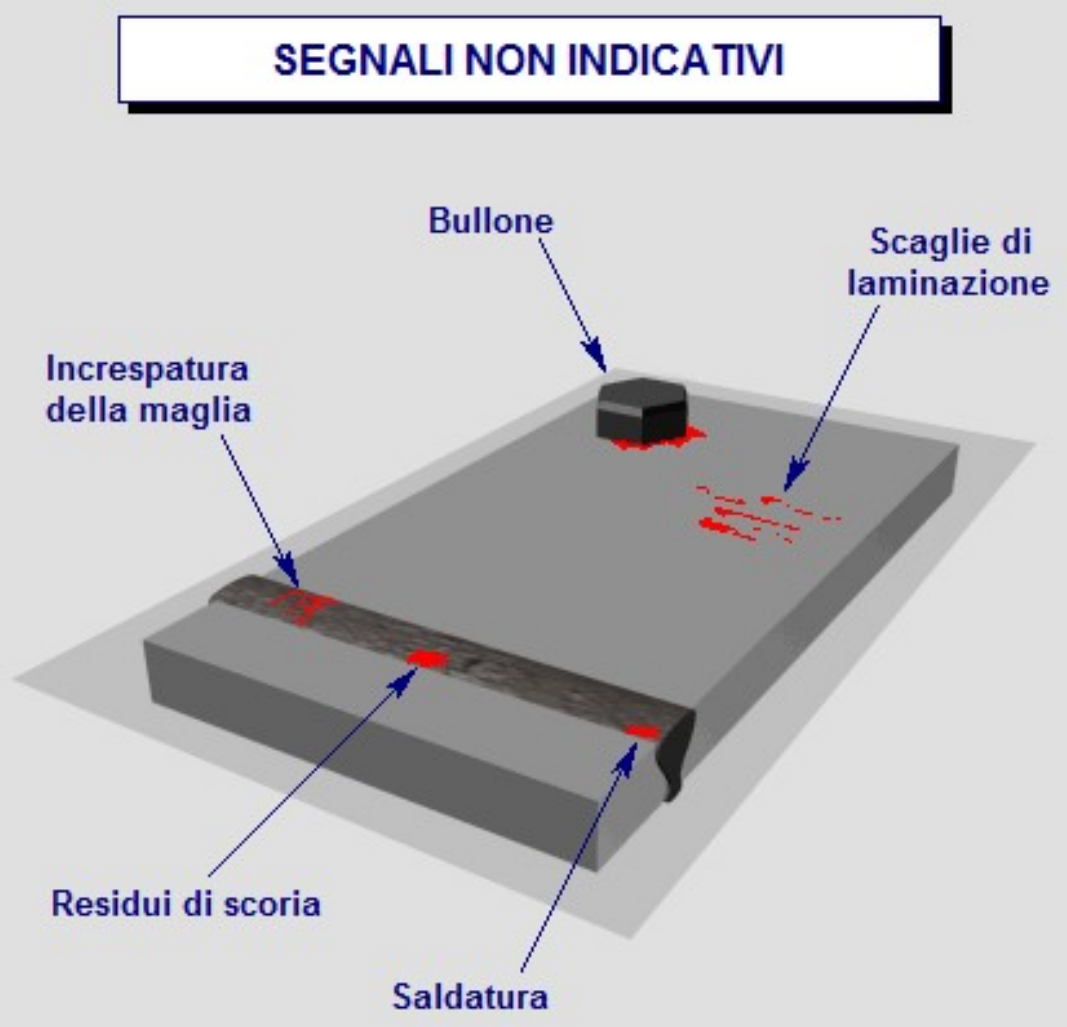
OSSERVAZIONE IN LUCE NERA
Sul piano di lavoro almeno 1000 $\mu W/cm^2$ per ISO 3452-1
Massimo livello di luce bianca 20 Lx per ISO 3452-1

Metodo PT – Ispezione

Si deve tener presente che non sempre un'indicazione è indice di discontinuità.

SEGNALI NON INDICATIVI

Alcuni segnali, costituiti da macchie o linee, possono essere originati in corrispondenza di discontinuità geometriche note, caratteristiche del pezzo esaminato

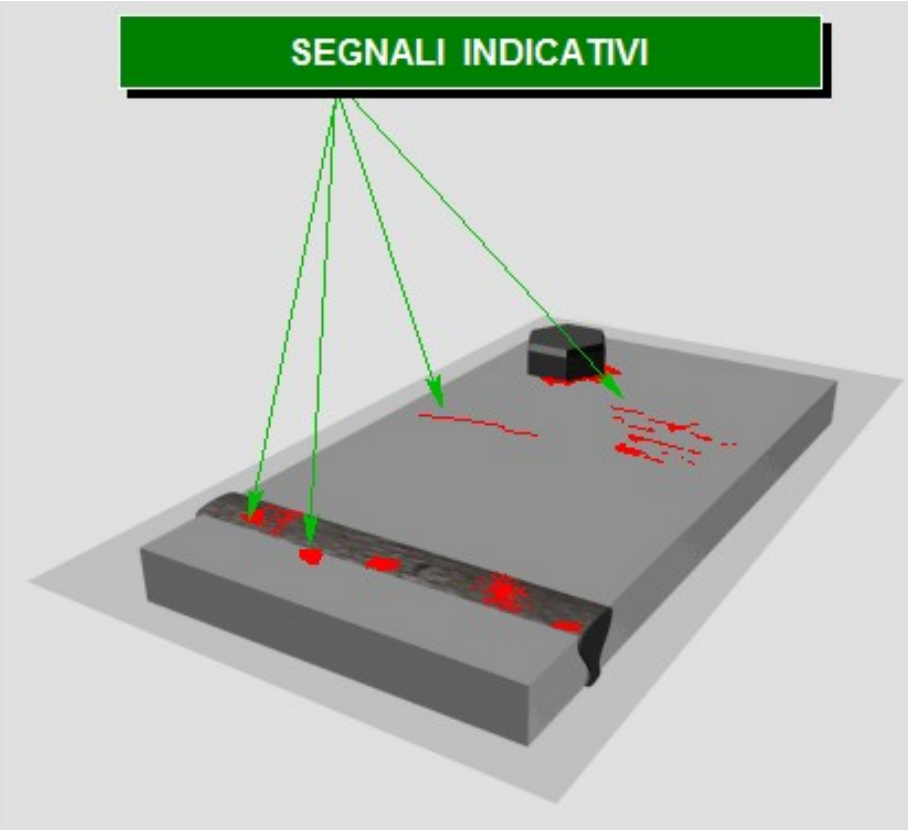


Metodo PT – Ispezione

Alcuni segnali possono aversi in seguito a condizioni esecutive non corrette (**falsi segnali**).

Ovviamente andranno esaminate solo le indicazioni che si riferiscono ad anomalie presenti nel pezzo (**segnali indicativi**).



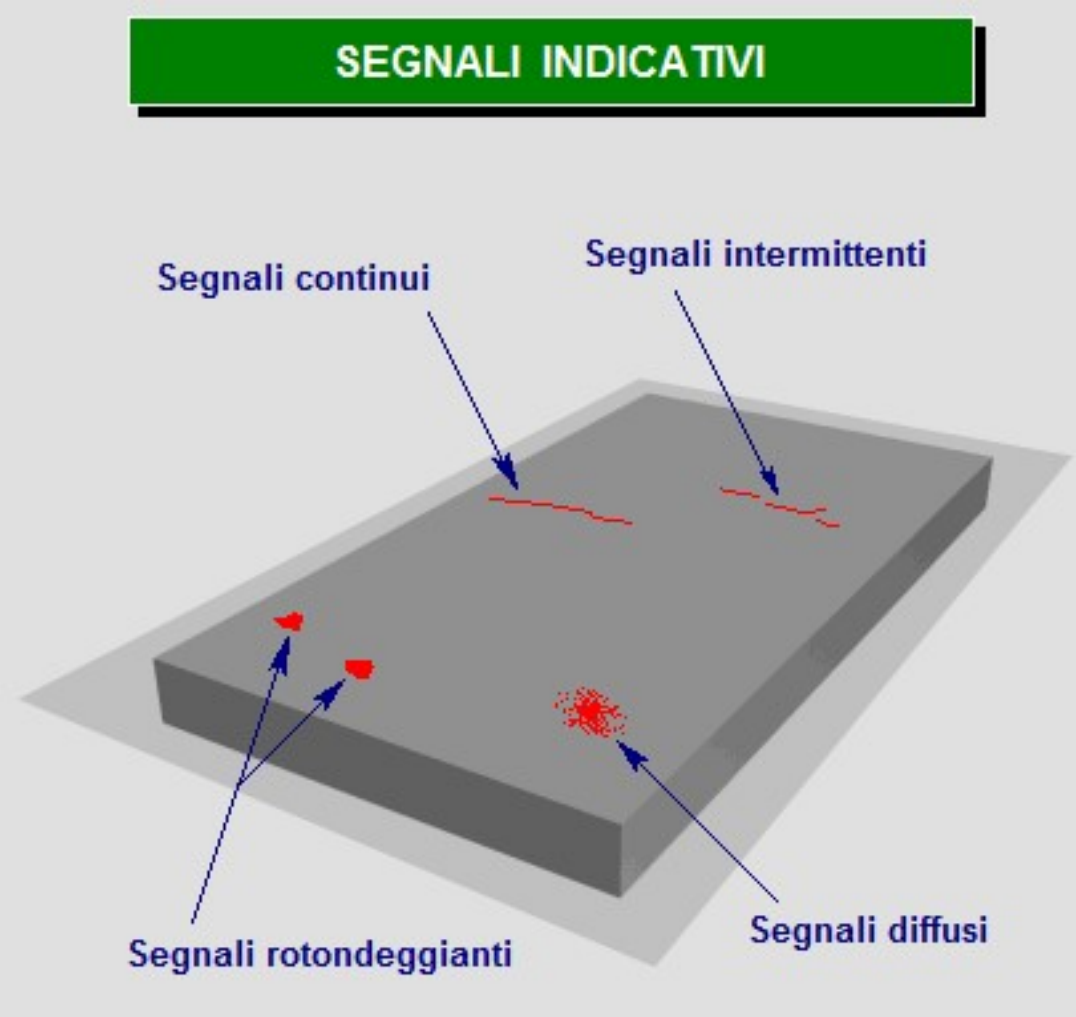


Metodo PT – Ispezione

I segnali indicativi sono suddivisi dalla norma ISO 23277 in:

- segnali lineari = continui o intermittenti aventi una lunghezza maggiore di tre volta la larghezza

- segnali non lineari = macchie a contorno più o meno circolare aventi una lunghezza minore o uguale di tre volte la larghezza



Metodo PT – Pulizia dopo l'esame

Nella maggior parte dei casi è sufficiente un semplice lavaggio con acqua o sgrassaggio con solventi.

Nel caso di superfici lavorate e rettificate è invece necessaria una protezione contro la ruggine mediante oliatura o ingrassatura.

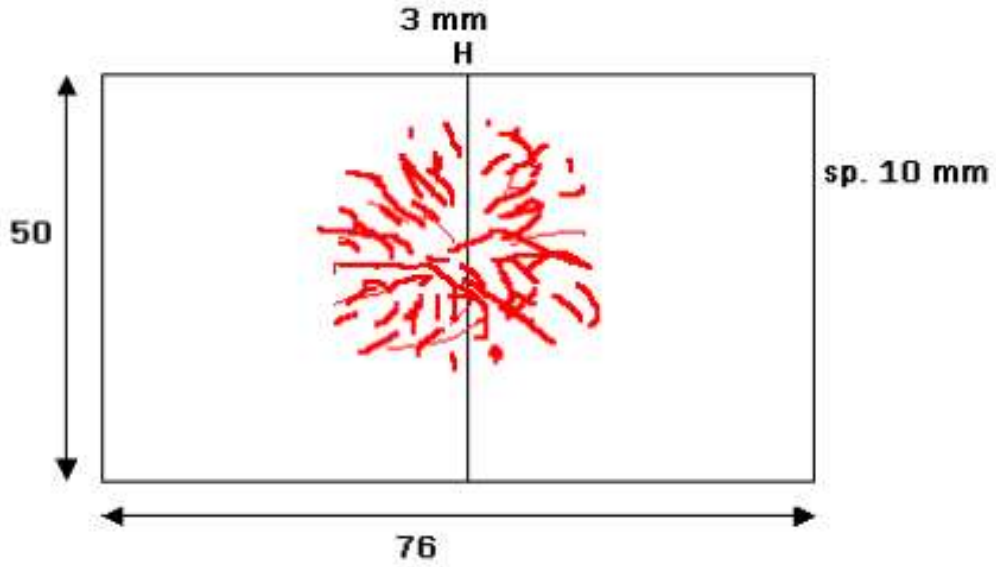
Metodo PT – Prove operative (Test pannel)

Campione ASTM SB 211 tipo 2024

E' ottenuto riscaldando, sulla fiamma di un becco BUNSEN, una piastra di alluminio nella sua zona centrale (all'incirca un cerchio di raggio 25 mm).

La temperatura è portata fino a 510÷525 ° , dopodichè si effettua una tempra in H_2O. Ne risulteranno una moltitudine di cricche distribuite più o meno regolarmente e si formeranno da entrambi i lati.

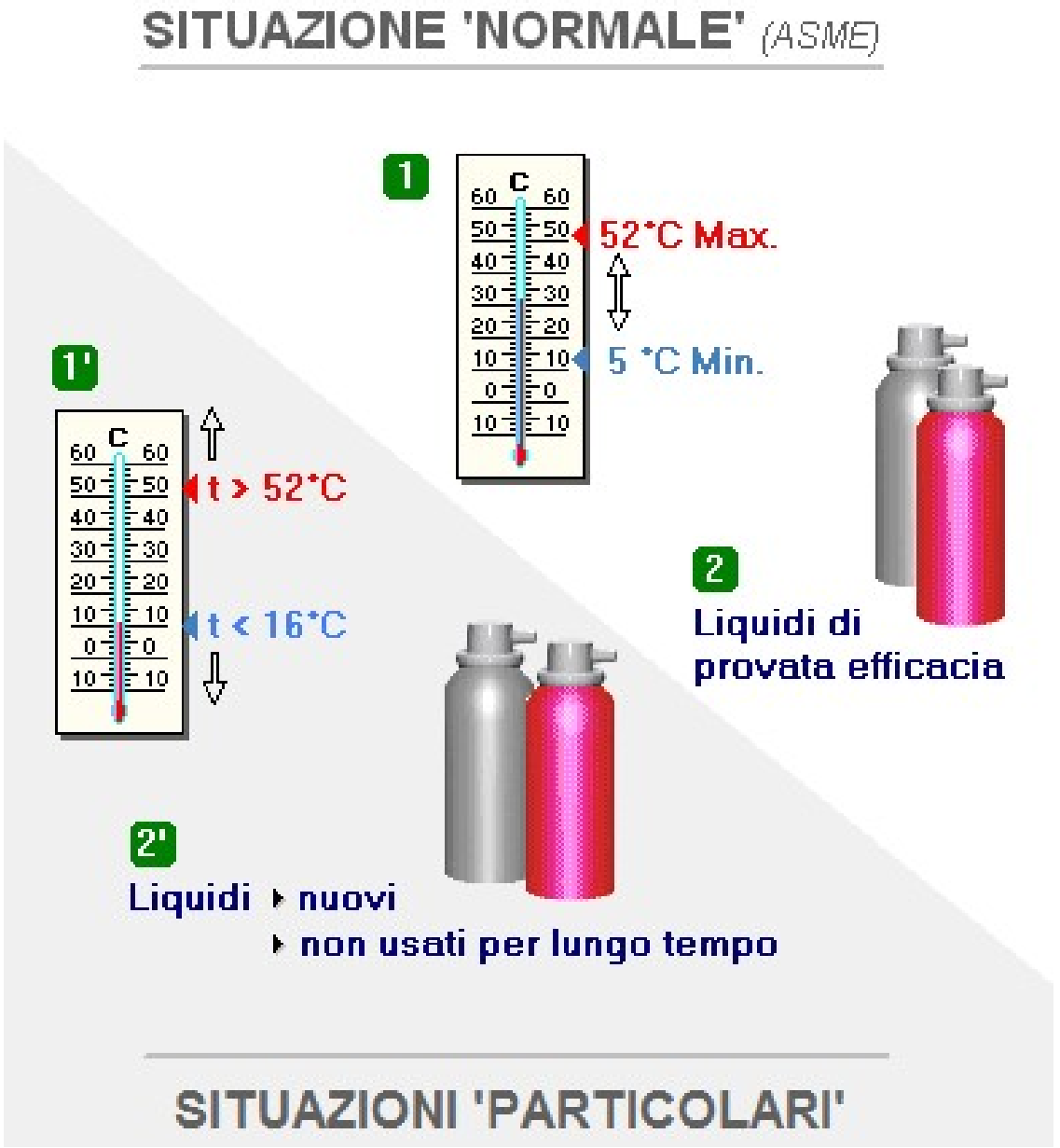
Al termine il blocco dovrà essere essiccato a ~ 510° C.



Metodo PT – Prove di attendibilità

Quando l'esame con liquidi penetranti deve essere eseguito in particolari condizioni climatiche al di fuori del campo di temperature previsto dalle norme è necessario verificare se l'esame è in grado di fornire risultati attendibili.

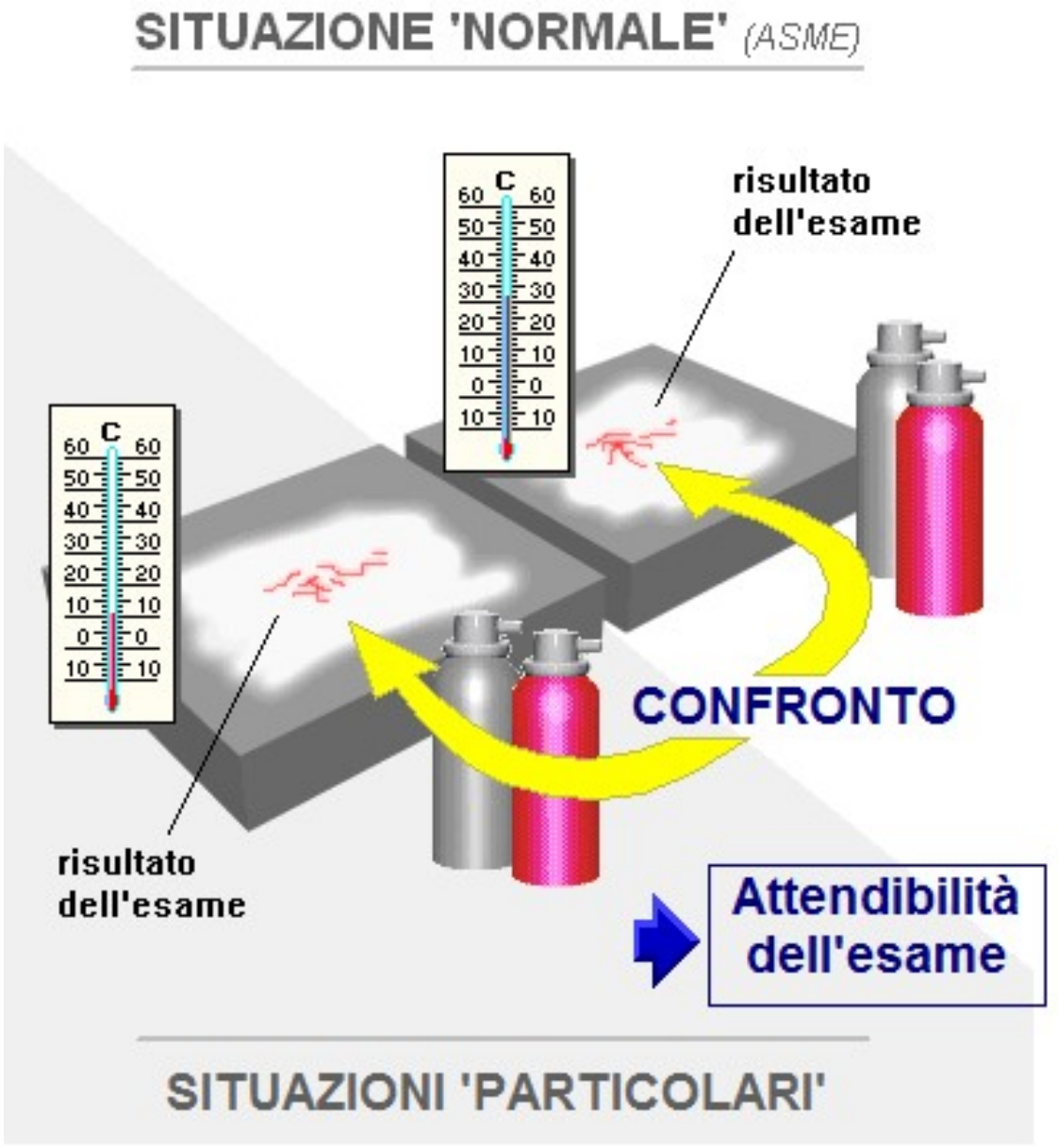
La stessa cosa è necessaria quando si devono utilizzare liquidi o rivelatori nuovi oppure vecchi, conservati in magazzino per lungo tempo.



Metodo PT – Prove di attendibilità

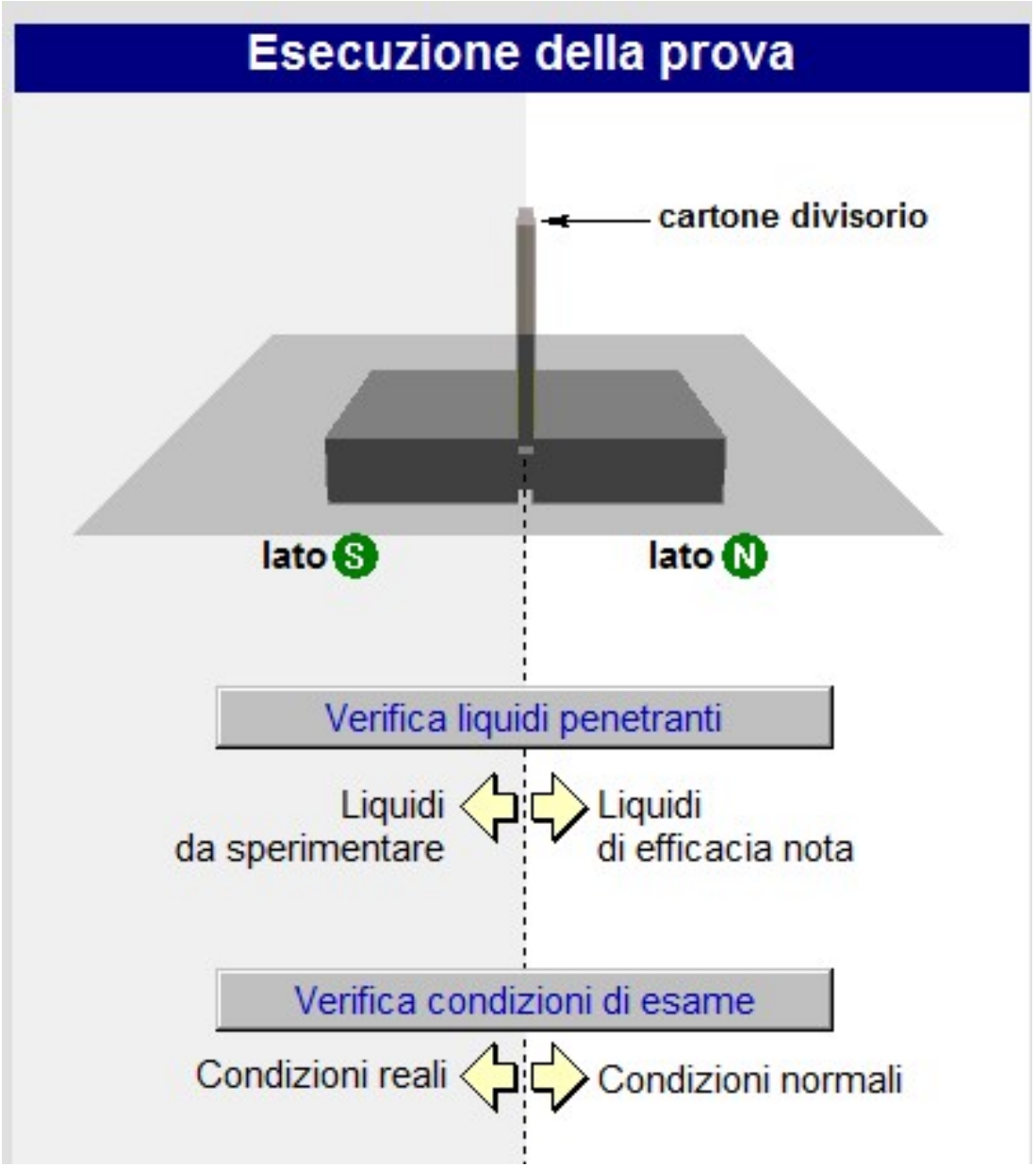
In questi casi si effettua un **confronto** dei risultati ottenuti nelle condizioni reali e con i prodotti da verificare, con quelli ottenuti da un esame condotto in condizioni normali e con prodotti di cui si è certi dell'efficacia.

Il confronto tra i segnali nei due casi permetterà di decidere sull'attendibilità dell'esame.



Metodo PT – Prove di attendibilità

Si esegue quindi la prova con le condizioni o i liquidi da sperimentare su di una metà del blocco (lato S), dopo aver applicato una parete divisoria nell'intaglio, per evitare di sporcare l'altra metà del pezzo (lato N) sulla quale verrà effettuato l'esame nelle condizioni normali.

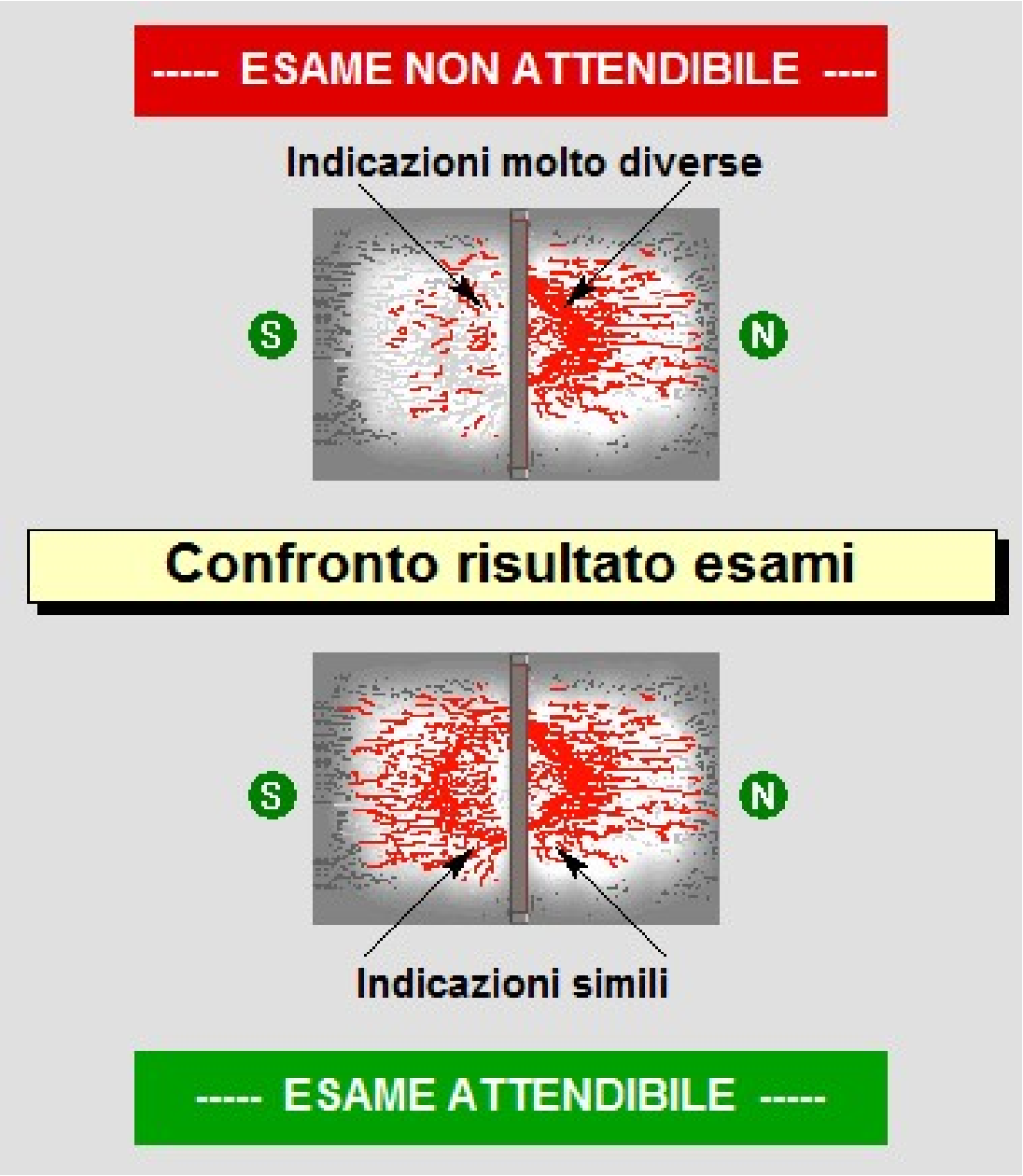


Metodo PT – Prove di attendibilità

Si confrontano quindi i risultati dei due esami (lato N e lato S):

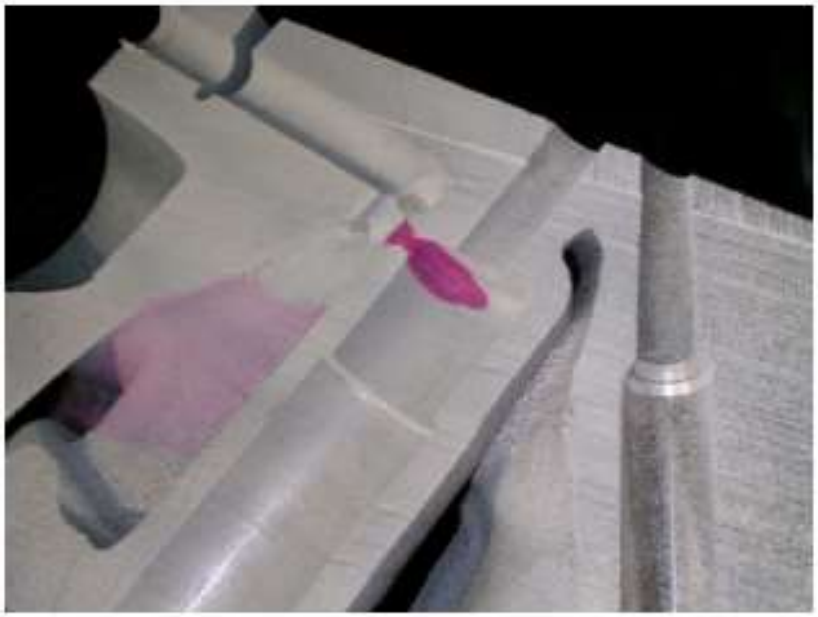
- una **notevole differenza** indica che i prodotti o le condizioni sperimentate non danno risposte attendibili;

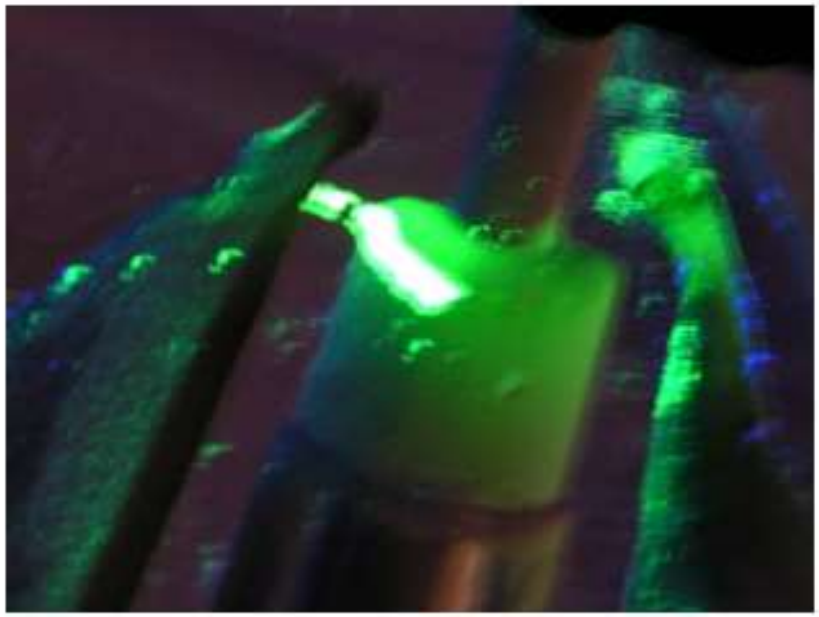
- **indicazioni molto simili** attestano viceversa che le condizioni ed i prodotti esaminati sono in grado di fornire risposte attendibili.



Metodo PT – Album fotografico

ALBUM FOTOGRAFICO





Cricca su una testata in alluminio
mercedes CDI 3200

Metodo PT – Album fotografico

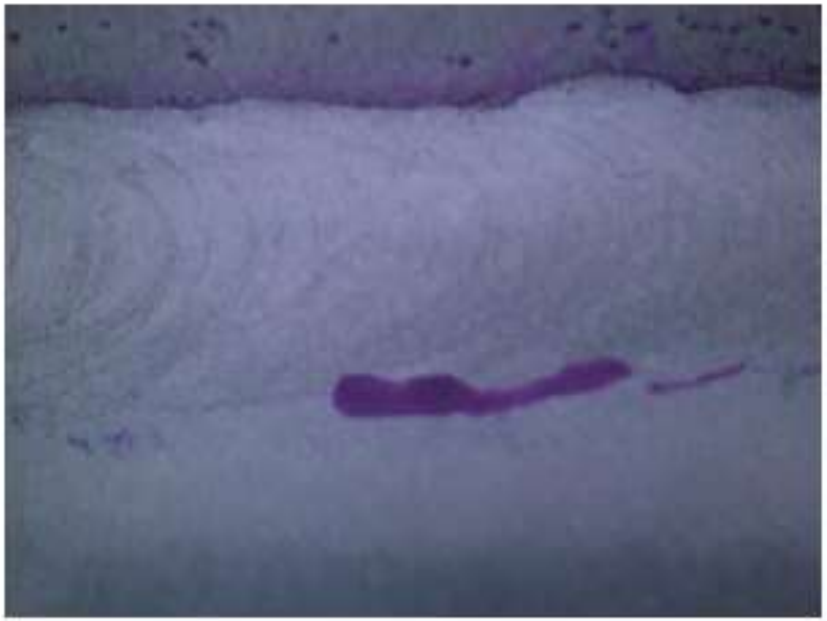
Campana di bronzo con una cricca passante



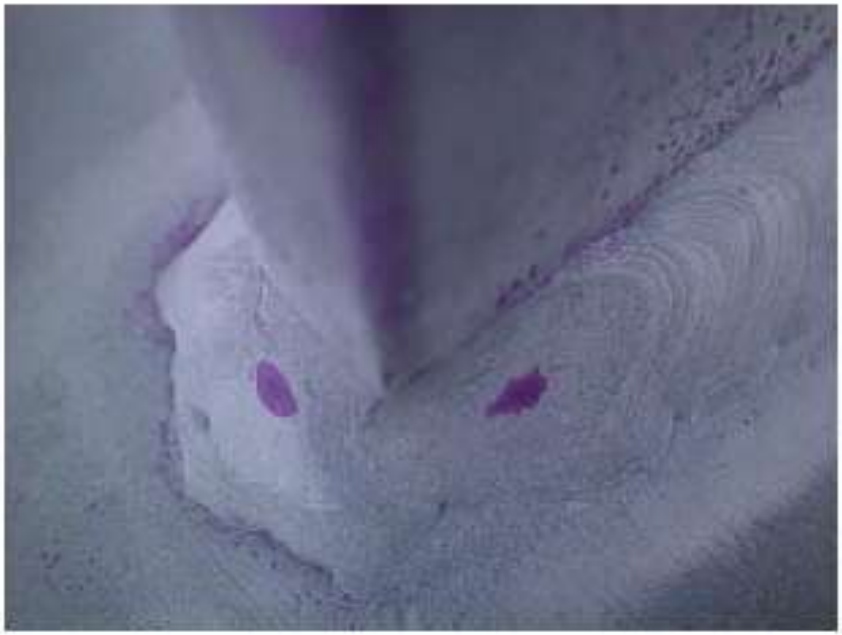


Liquidi penetranti di saldature

- incollatura



- Cricca di cratere



Metodo PT – Album fotografico

Incollatura su saldatura laser di una bacchetta da sci

