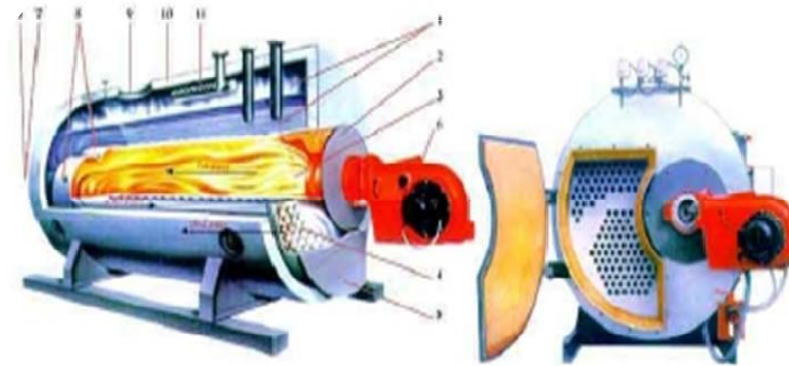


ing. Domenico Mannelli



**LA DIFETTOLOGIA
L'ESAME VISIVO E I CND**

Passo d'uomo



Chiusura autoclave

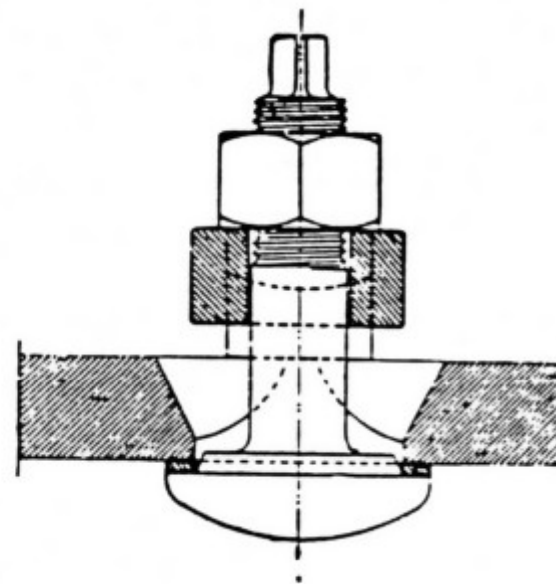
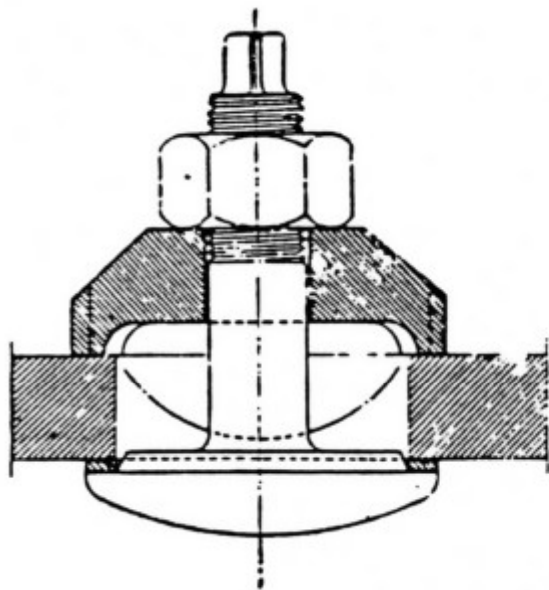


Fig. 25

Apertura flangiata



Esame visivo

Passo d'uomo



generatore a tubi d'acqua



PORTELLA ANTIESPLOSIONE

2007

6

interno generatore tubi d'acqua



generatore a tubi da fumo: cassa ispezionabile



Ambienti confinati



ESEMPI DIFETTOLOGIA



Bugnatura

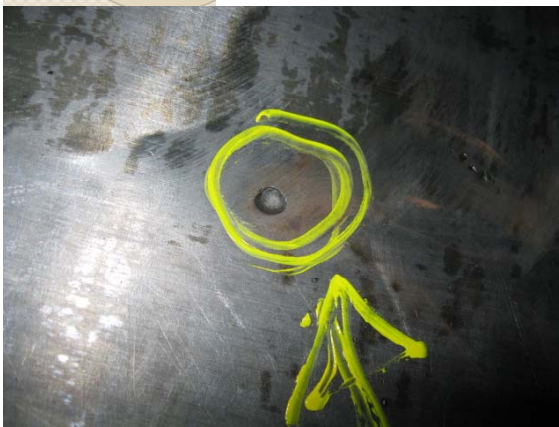


Vaiolature



Sporcamento
Intasamento

ESEMPI DIFETTOLOGIA



ATTACCO
LOCALIZZATO DA
OSSIGENO/ACIDO?



CORROSIONE DA
DEPOSITO



CORROSIONE
DIFFUSA

ESEMPI DIFETTOLOGIA



CRICCA
LONGITUDINALE IN
SALDATURA
CIRCONFERENZIALE
AL BOCCELLO



CORROSIONE DA
CONDENSA ACIDA
ESTERNA



CRICCHE

ESEMPI DIFETTOLOGIA



ATTACCO DA
OSSIGENO SUL
FOCOLARE



CRICCA trasversali
IN SALDATURA
LONGITUDINALE



GIBOLATURA DA
COLPO DI FIAMMA



ORIGINE DEI DIFETTI NEI METALLI

- ❑ STRESS AD ALTA TEMPERATURA o SCORRIMENTO VISCOSO
- ❑ STRESS A FATICA
- ❑ CORROSIONE

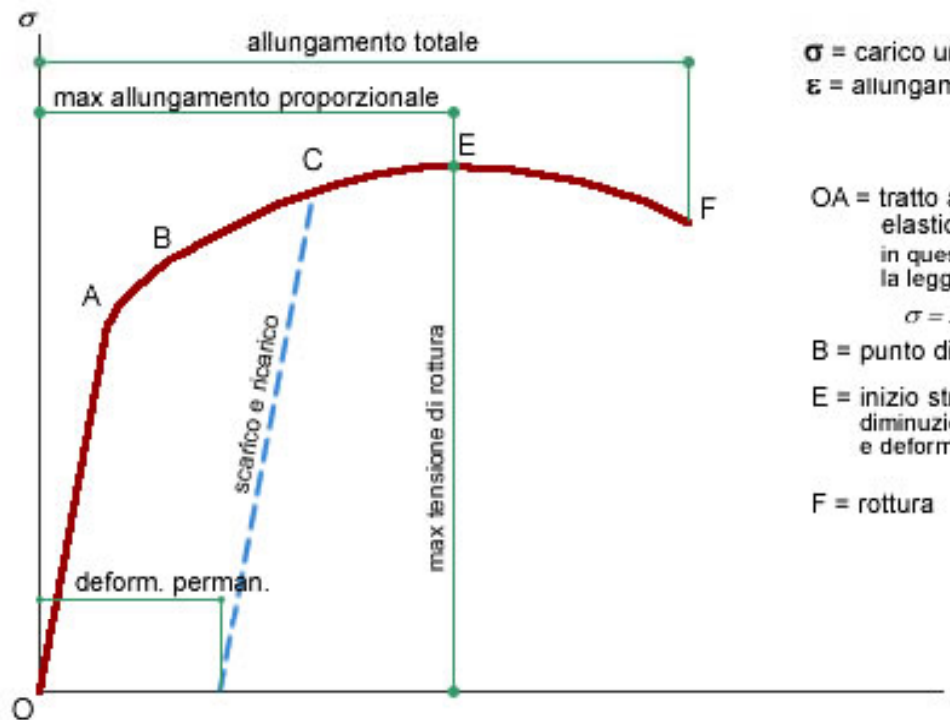
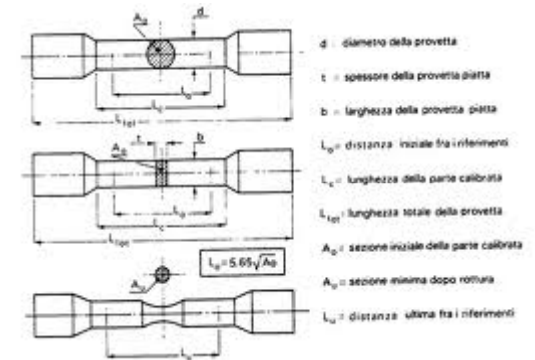


LE SOLLECITAZIONI NEI METALLI

Le sollecitazioni generano di solito deformazioni reversibili (sollecitazioni in campo elastico).

Tuttavia esiste una parte del dominio di resistenza a fatica che corrisponde a deformazioni permanenti (sollecitazioni in campo plastico).

RESISTENZA METALLI



σ = carico unitario
 ε = allungamento unitario

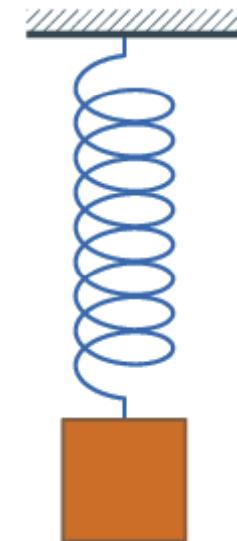
OA = tratto a comportamento elastico-lineare
 in questo tratto è valida la legge di HOOKE

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

B = punto di snervamento

E = inizio strizione
 diminuzione area iniziale
 e deformazioni concentrate

F = rottura



legge di Hook : l'allungamento subito da un corpo elastico è direttamente proporzionale alla forza a ad esso applicata

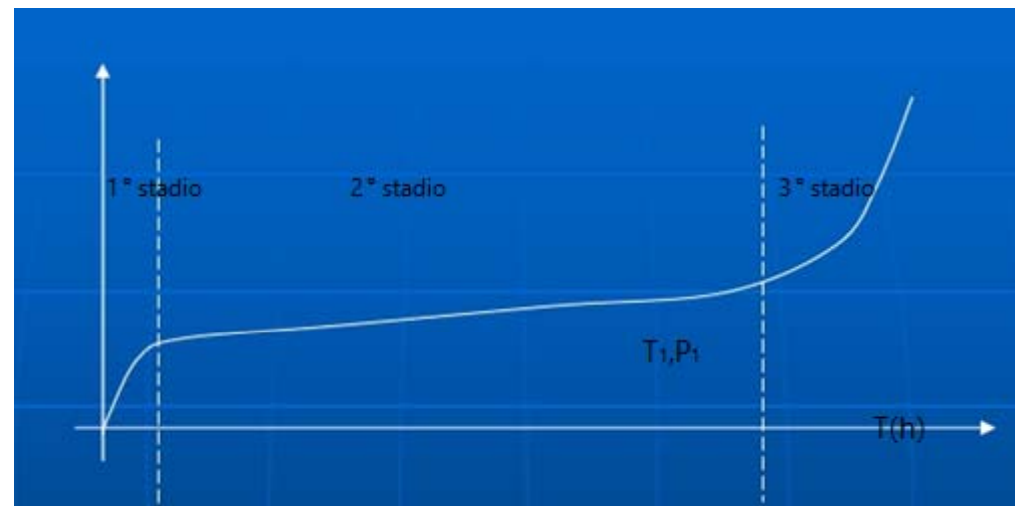
SCORRIMENTO VISCOSO I

Lo scorrimento viscoso o scorrimento plastico permanente (in inglese creep) è la deformazione permanente di un materiale sottoposto, ad alta temperatura, a sforzo costante; si manifesta al di sopra della temperatura di scorrimento (T_s), coincidente indicativamente con la temperatura di ricristallizzazione e approssimabile alla metà della temperatura di fusione misurata in gradi K.

SCORRIMENTO VISCOSO 2

Si distinguono tre fasi:

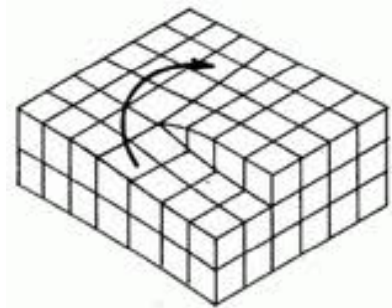
- la prima (scorrimento primario) individua la parte di deformazione assai rapida che si genera all'atto dell'applicazione del carico
- la seconda (scorrimento secondario) definisce un periodo di tempo, in generale molto lungo e dipendente dalle condizioni di temperatura e carico applicate, in cui la velocità di deformazione è diversa da zero e costante; la deformazione accumulata è permanente
- la terza (scorrimento terziario) rappresenta un fenomeno intrinsecamente instabile che conduce rapidamente alla rottura.



MECCANISMO SCORRIMENTO VISCOSO

Nei solidi metallici le deformazioni plastiche sono generalmente causate, a livello microscopico, da difetti del reticolo chiamati dislocazioni, che facilitano lo scorrimento dei piani cristallini muovendosi attraverso il materiale.

In caso di $T < T_S$, lo sforzo costante induce una deformazione elastica e plastica senza che questa continui fino a rottura: non vi è infatti abbastanza energia per il movimento delle dislocazioni, quindi ad un certo punto la deformazione si arresta.





FATICA

La fatica è il complesso dei fenomeni per cui un elemento strutturale, soggetto a sollecitazioni cicliche, mostra una resistenza inferiore a quella rilevata nelle prove con sollecitazioni statiche.

Il carico che provoca la rottura dipende da molti parametri: finitura superficiale, forma dimensione, ambiente, tipo di sollecitazione, forma del ciclo e numero di cicli



FATICA OLIGOCICLICA

La fatica oligociclica è il fenomeno che si presenta quando la sollecitazione di fatica conduce il materiale alla rottura dopo pochi cicli

Infatti in greco oligos → poco da cui:
fatica a basso numero di cicli

La rottura avviene quindi per carichi elevati quando sono presenti deformazioni plastiche



ESEMPI

Integrità di una gru sotto l'effetto di un sisma o di un vento eccezionale

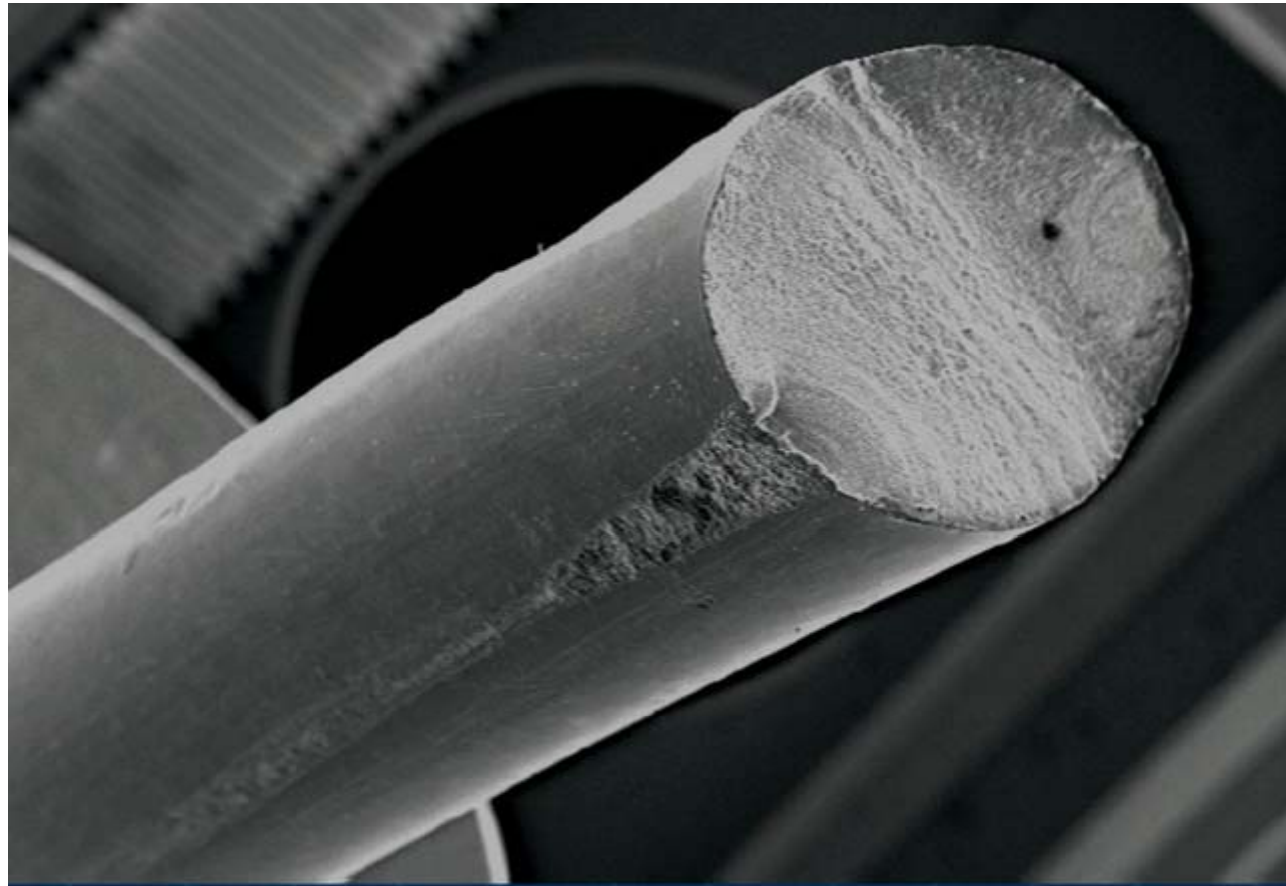
Resistenza di tubi o recipienti in pressione in presenza di un incidente (rottura di una parte di un impianto, sovratemperature, sollecitazioni di urto).

Picchi di sollecitazione in corrispondenza di intagli mal raccordati, anche quando la sollecitazione nominale è in campo elastico

La rottura si origina da difetti dai quali si genera e si propaga una cricca finché la riduzione della sezione resistente provoca la rottura di schianto.



ESEMPIO DI ROTTURA PER FATICA





CORROSIONE

Si definisce Corrosione l'interazione chimica (molto spesso elettrochimica) tra un materiale (di norma metalli) e l'ambiente circostante che produce un degrado del materiale e delle sue proprietà tale da comprometterne la funzionalità.



CORROSIONE

La corrosione dei metalli (tranne quelli nobili: oro, argento, platino) è un processo spontaneo.

I materiali metallici, a contatto con ambienti aggressivi liquidi o gassosi, tendono a raggiungere uno stato termodinamicamente più stabile.



CORROSIONE

Corrosione chimica (o a secco, oppure

ossidazione): si ha in ambienti privi di acqua allo stato di liquido o di vapore, ad alta temperatura

Corrosione elettrochimica (o ad umido): si ha in ambienti che presentano acqua allo stato liquido o di vapore. Si ha un processo anodico di dissoluzione del metallo (libera elettroni) e un processo catodico di riduzione di una specie presente nell'ambiente.

CORROSIONE



diffusa o
generalizzata



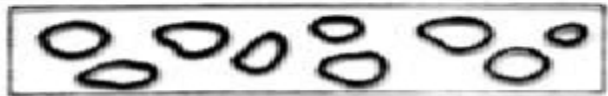
uniforme



CORROSIONE LOCALIZZATA



ulcere



crateri



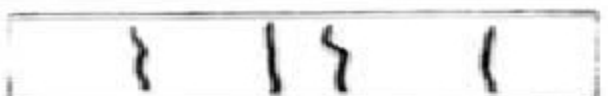
caverne



punte di spillo



cricche
intercristalline



cricche
transcristalline



cricche transcri-
stalline ramificate



CORROSIONE SELETTIVA



intragranulare



intergranulare



MECCANISMO ELETTROCHIMICO

- **Corrosione a secco di un metallo:**

Metallo+ag. Aggressivi \longrightarrow Prodotti di corrosione

- **Corrosione a umido di un metallo:**

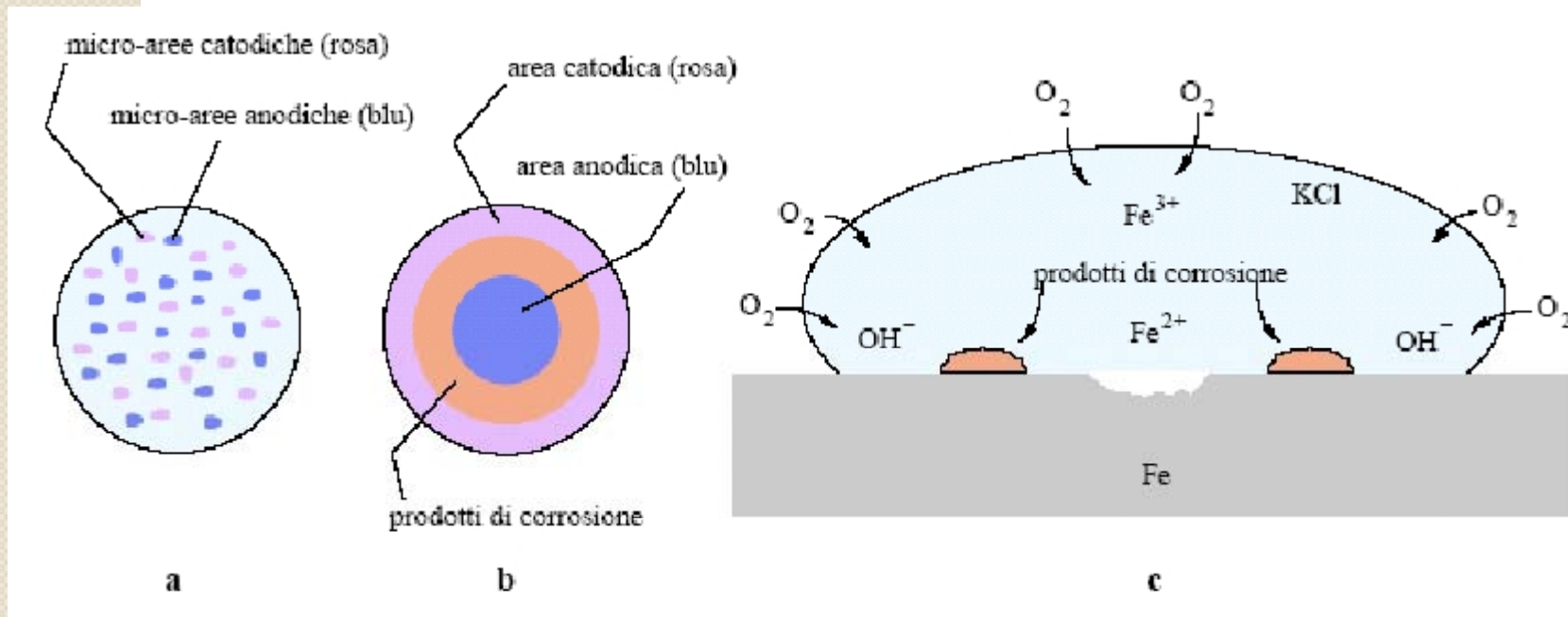
reazione anodica, ossidazione del metallo e disponibilità
elettroni nella fase metallica

reazione catodica, sottrae elettroni al metallo per ridurre una o
piu specie chimiche nell'ambiente.

Metallo+O₂+H₂O \longrightarrow Prodotti di corrosione

ESPERIENZE DI EVANS

- **Goccia di soluzione di KCl (con indicatori) su Fe**
Indicatori blu (pH acido) Indicatori rosa (pH alcalini)



Area blu: Idrolisi degli ioni Fe^{2+} (ossidazione del Fe)

Area rosa: Zona alcalina (riduzione O_2)

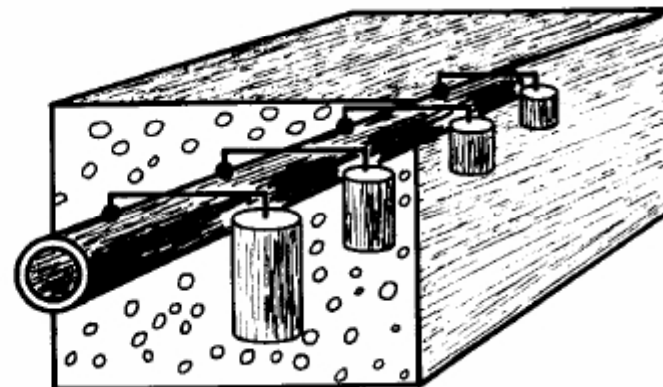
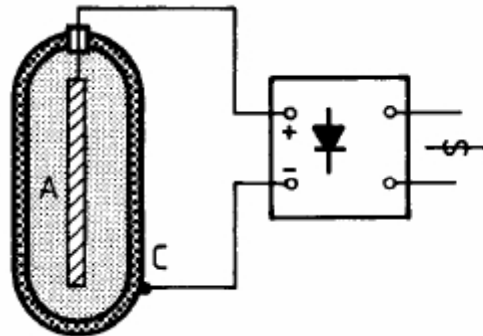
Esperienze di Evans

- Aree a comportamento anodico (Ox):
 - **$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2 \text{e}^-$**
- Aree a comportamento catodico (Rid):
 - **$\text{O}_2 + 4 \text{e}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{OH}^-$**
- Diffusione dei prodotti di corrosione e precipitazione di solidi insolubili:
 - **$\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$**

Protezione catodica

Essa consiste nell'abbassare la tensione metallo-ambiente in modo da portarla nella zona di immunità

- Protezione catodica per **corrente imposta**, utilizzando un generatore esterno di f.e.m. regolabile ed un anodo ausiliario;
- Protezione catodica con **anodo sacrificale**. In questo caso la f.e.m. necessaria è ottenuta dalla differenza fra la tensione media della coppia di corrosione e la tensione propria (e più negativa) di un anodo, detto sacrificale.



CORROSIONE GENERALIZZATA

- Interessa tutta la superficie del metallo a contatto con l'ambiente aggressivo
- Riguarda metalli allo stato attivo
- Presentano una sostanziale coincidenza tra le aree anodiche e catodiche.

- Produzione di alta quantità di prodotti di corrosione
- Meno insidiosa della corrosione localizzata
- Bassa velocità di perdita di spessore
- Evoluzione nel tempo prevedibile

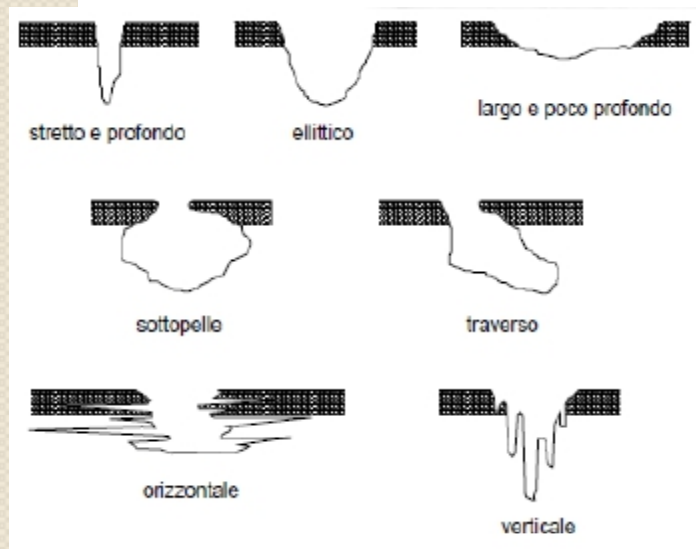


CORROSIONE PER VAIOLATURA O PITTING



Attacchi estremamente localizzati, detti pit o vaiolature, che dalla superficie penetrano attraverso lo spessore del metallo a velocità spesso molto elevata.

Le morfologie sono variabili: a punta di spillo, a caverna, emisferica



Si forma una macrocoppia costituita da una zona anodica (dove avviene l'attacco) e una catodica (dove avviene la riduzione dell' O_2), con passaggio di correnti molto elevate (quindi alta V_{corr})

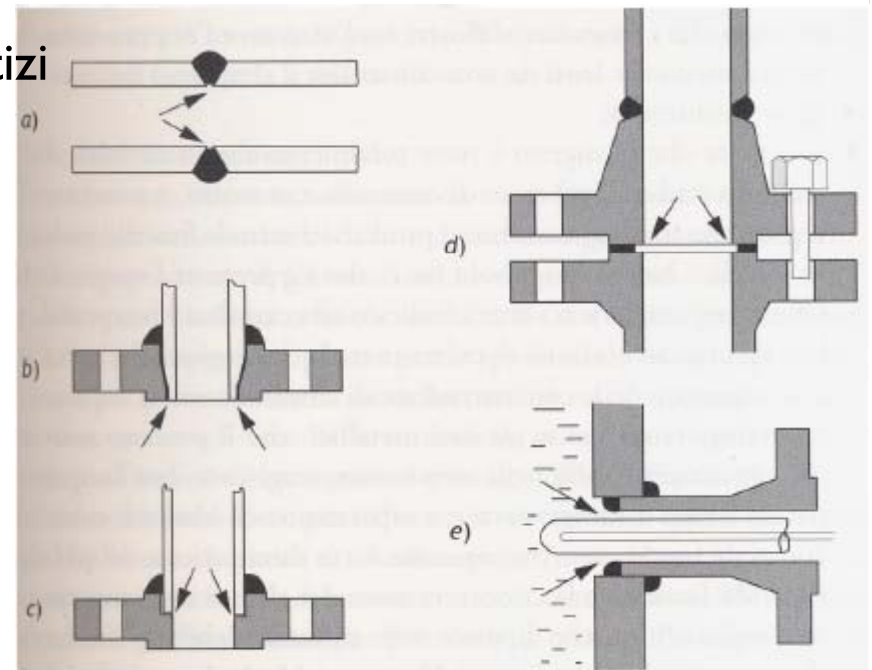
Alcuni aspetti caratteristici della corrosione per pitting sono i seguenti:

- interessa i metalli in condizioni di passività, dove la superficie metallica è protetta da un film di ossido; gli acciai inossidabili, il rame e le sue leghe, l'alluminio sono leghe potenzialmente suscettibili di corrosione per pitting;
- nell'ambiente devono essere presenti specifici ioni aggressivi, in particolare gli ioni cloruro;
- Localizzazione non sempre identificabile (innesco statistico) e i piccoli fori possono essere mascherati da depositi di varia natura.

Corrosione interstiziale e in fessura

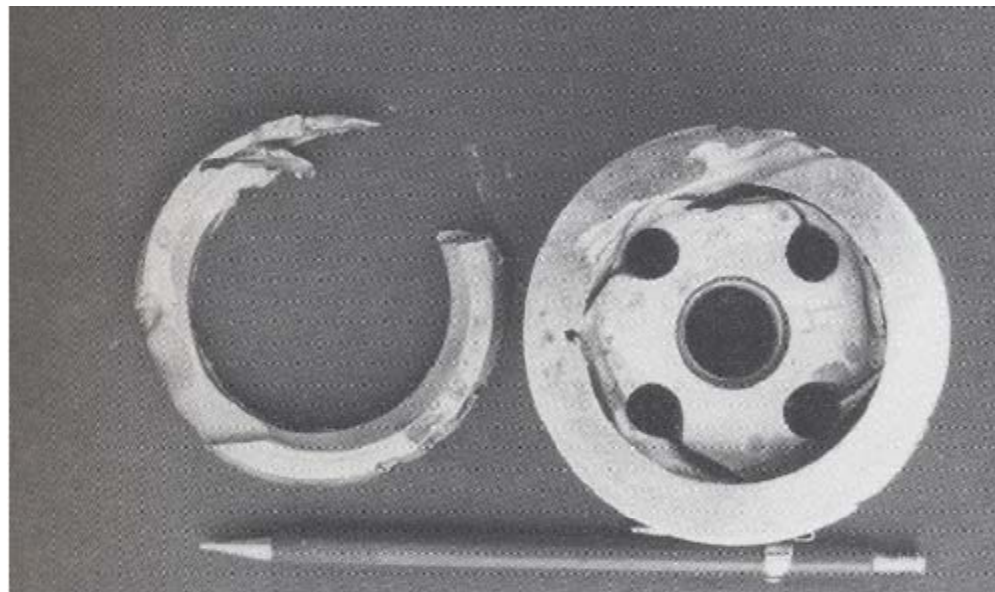
- Avviene sulla superficie dei materiali metallici dove vi è la presenza di fessure, interstizi, schermi o depositi.

Esempi di situazioni che danno luogo a interstizi sono: l'accoppiamento mediante flange; l'accumulo, sul fondo di una tubazione, di depositi di natura qualsiasi. Lo spessore degli interstizi è variabile da pochi centesimi a decimi di micron.



CORROSIONE PER TURBOLENZA, ABRASIONE, CAVITAZIONE E SFREGAMENTO

Sono attacchi dovuti al continuo danneggiamento locale del film superficiale protettivo per azione meccanica dell'ambiente aggressivo, cui fa seguito il fenomeno corrosivo delle aree depassivate.

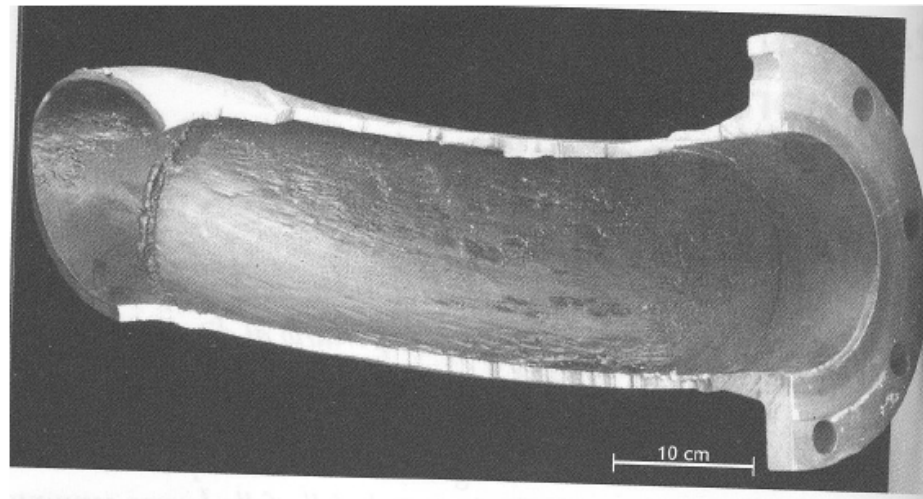


CORROSIONE PER TURBOLENZA

Tutte le apparecchiature che trattano fluidi sono potenzialmente soggette ad attacchi di questo tipo.

Cause:

- Condizioni superficiali (difetti, porosità)
- Attacchi stessi (aumentano il grado di turbolenza)
- Presenza di solidi in sospensione (ghiaia, sabbia, polveri abbassano le velocità critiche)
- Forme geometriche

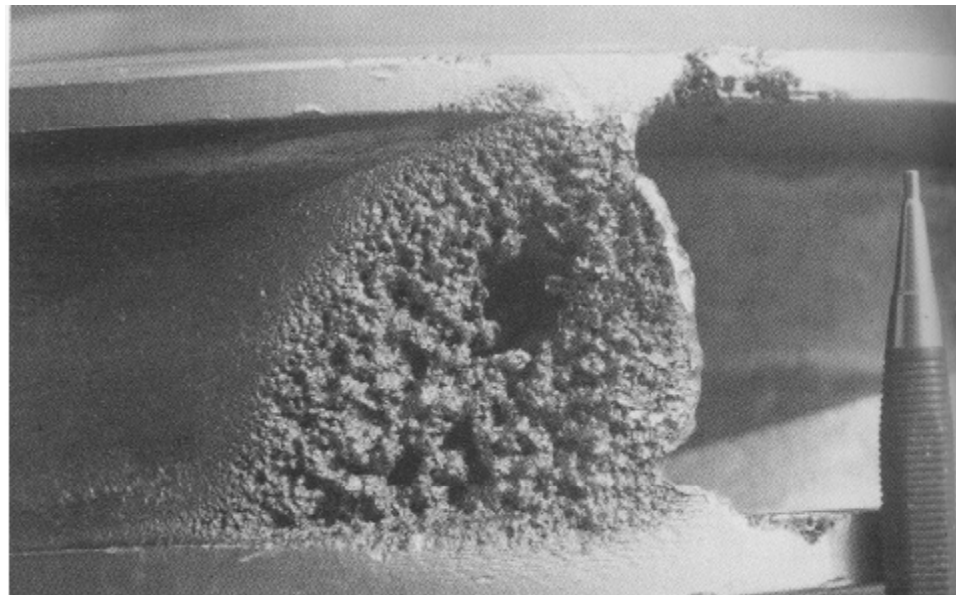


CORROSIONE PER CAVITAZIONE

Si ha quando la pressione scende localmente al di sotto della tensione di vapore del liquido o in presenza di vibrazioni, formando bolle gassose seguito dal loro rapido collasso generando onde d'urto particolarmente violente

Danni:

- Danneggiamenti meccanici con deformazioni permanenti
- Fenomeni di fatica
- Formazione di crateri (aspetto spugnoso)

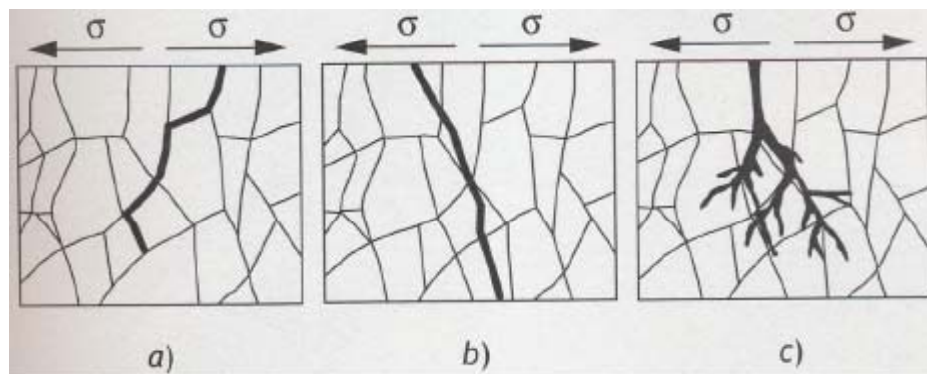


CORROSIONE SOTTO SFORZO

L'azione simultanea di particolari ambienti di per sé poco aggressivi o non aggressivi, e di uno stato di sollecitazione di trazione caratterizzato da sforzi di valore inferiore a quelli necessari per portare a rottura puramente meccanica, può dar luogo, per particolari accoppiamenti “metallo-ambiente”, a formazioni di cricche.

Morfologia e condizioni di insorgenza

- Rottura per SCC senza deformazioni plastiche (apparente cedimento strutturale)
- Nessuna perdita di duttilità
- Le fessure si producono in direzione perpendicolare a quella della sollecitazione di trazione massima
- Prodotti di corrosione poco visibili
- Le fratture possono essere intercristalline o transcristalline e più o meno ramificate (materiale, ambiente, entità e distribuzione degli sforzi).



CORROSIONE SOTTO SFORZO (Stress Corrosion Cracking SCC)

Innesco delle cricche

Incubazione: Il tempo può variare da pochi minuti a parecchi anni (fattori ambientali, struttura del metallo, pH, tenore di ossigeno e altre specie ossidanti, dalla temperatura, dal potenziale, dalle sollecitazioni e le sue variazioni nel tempo).

Es. -acciai inox austenitici in cloruro di magnesio bollente mostrano cricche dopo poche ore.

-superleghe di nichel (reattori nucleari) in acqua a $T=290^{\circ}\text{C}$ presentano cricche dopo parecchi anni

L'innescò è favorito oltre che dall'ambiente dalla presenza di siti di concentrazione degli sforzi: intagli o fori, saldature e rugosità superficiali

Se l'ambiente non è in grado di promuovere la SCC lo può divenire in seguito ad attacchi localizzati (pitting o interstiziali).

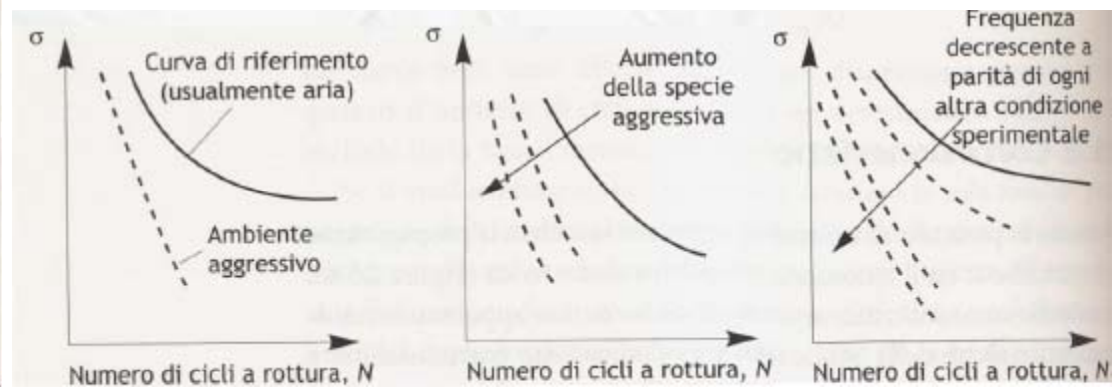
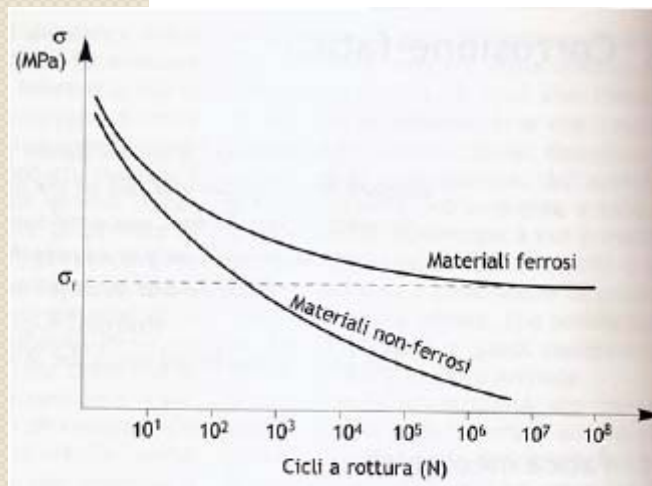


CORROSIONE - FATICA

Si ha quando la presenza di un ambiente aggressivo accelera la propagazione della cricca.

CARATTERISTICHE:

- Cricche numerose
- Prevalentemente transcristalline
- Perpendicolari alle superfici di massima sollecitazione di trazione





IL RISCHIO NELLE ATTREZZATURE A PRESSIONE

- ❑ ERRATA INSTALLAZIONE

- ❑ ERRATA GESTIONE E MANUTENZIONE



ERRATA INSTALLAZIONE

La verifica di messa in servizio e la prima verifica periodica accertano che l'installazione non sia a rischio.

La verifica periodica di esercizio deve accertare che le condizioni di installazione rimangano invariate e che lo stato di conservazione sia accettabile.



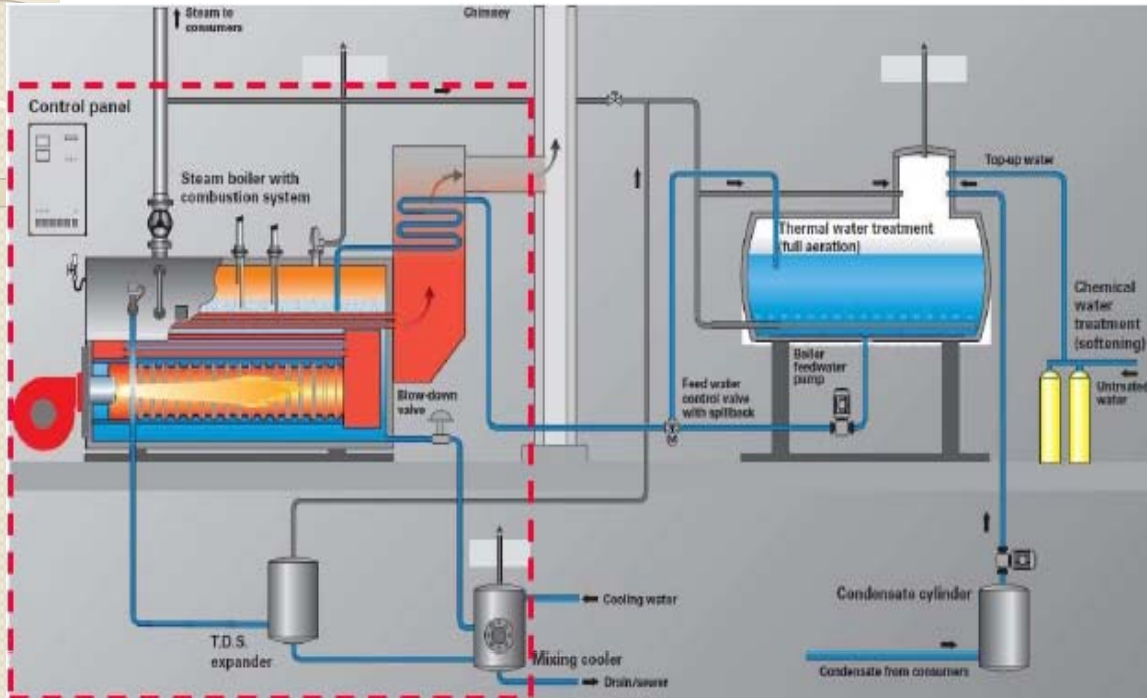
ERRATA GESTIONE E MANUTENZIONE

L'utente può :

- variare l'installazione o fare modifiche alla attrezzatura senza autorizzazione
- non fare la manutenzione necessaria (controlli acqua, taratura accessori, effettuazione spurghi ecc)

Le verifiche di esercizio e di integrità devono controllare tali comportamenti ed eventuali conseguenze negative di comportamenti non adeguati.

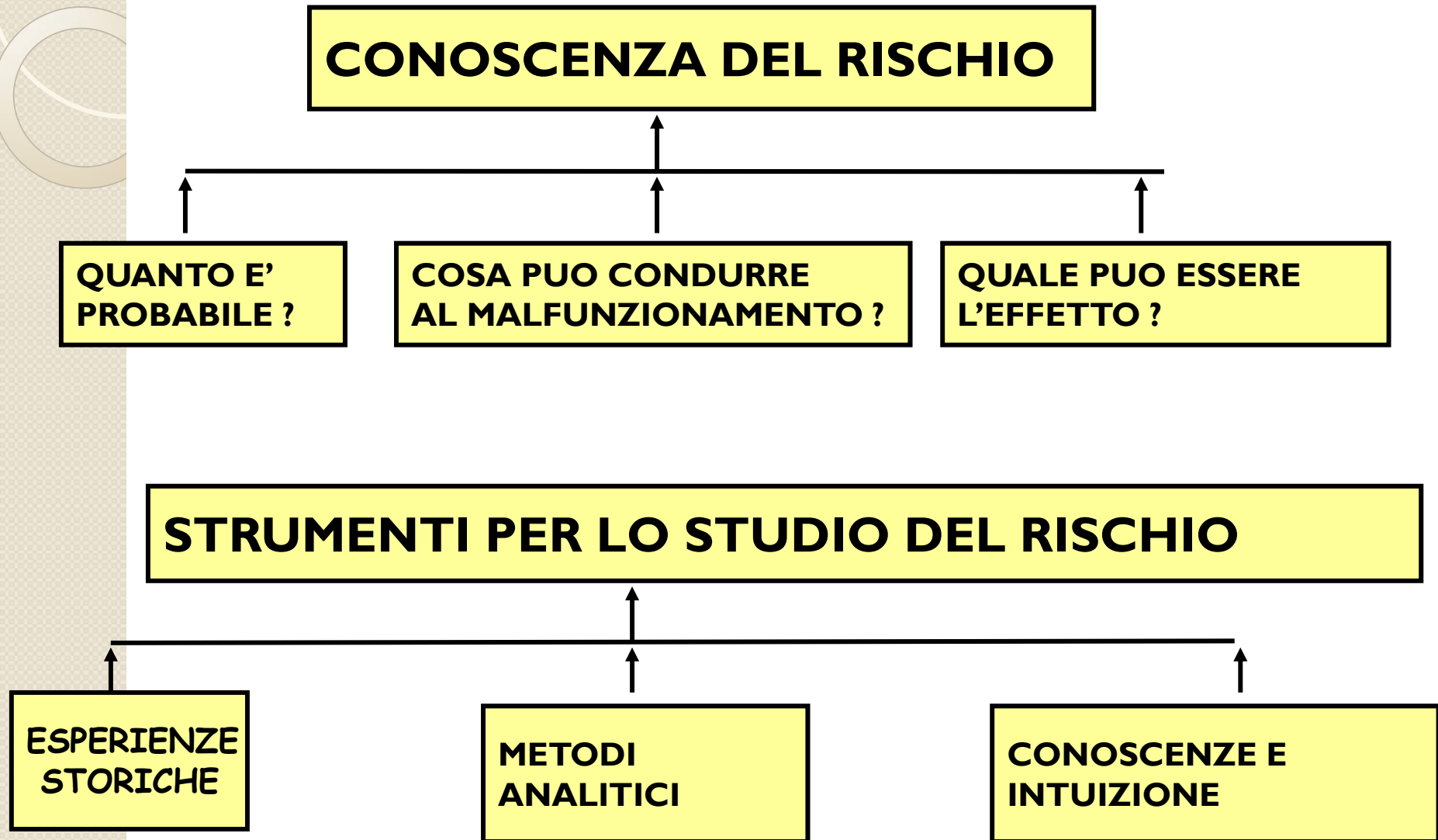
PRINCIPALI PROBLEMATICHE E PERICOLI IN UN G.V.A TUBI DI FUMO



- A) sovrappressione
- B) mancanza di acqua
- C) eccesso di acqua
- D) surriscaldamento (vap. surr.)
- E) combustione insicura
- smaltimento del calore dopo shut-off
- qualità dell'acqua

fondamentale anche
il ruolo del “conduttore” / supervisore

GLI STRUMENTI OPERATIVI DEL VERIFICATORE



FATTORI O ANOMALIE CHE POSSONO DETERMINARE SOVRAPPRESSIONI O VUOTO NEGLI IMPIANTI CHIMICI

- 1) **Scambio di calore con l'ambiente esterno per:**
 - a) Incendio esterno
 - b) Variazioni della temperatura ambiente

- 2) **Riscaldamento esterno:**
 - a) Anomalie sul vapore di riscaldamento (valvola rimasta aperta - mancato funzionamento valvola di riduzione a monte)
 - b) Riscaldamento elettrico rimasto inserito

3)Riscaldamento interno:

- a) Anomalie nella reazione determinata da mancato trasferimento inibitore
- b) Contaminazione agenti esterni
- c) Eccessivo caricamento catalizzatore
- d) Errore nella sequenza di carico, alta temperatura
- e) Danneggiamento agitatore
- f) Mancata partenza agitatore
- g) Accumulo reagente
- h) Mancato funzionamento organi di controllo
- i) Polimerizzazioni
- l) Decomposizioni
- m) Reazioni note e incontrollate
- n) Reazioni secondarie ignote
- o) Errore nel dosaggio
- p) Interruzione del ciclo



Condizioni Esplosive:

- a)** Formazioni di miscele esplosive
- b)** Polveri
- c)** Fluidi instabili



Anomalia nei servizi

- Elettrici
- Azoto
- Aria strumenti
- Fluido di raffreddamento



CATTIVO FUNZIONAMENTO DI

a) strumenti di controllo quali:

- sensori di campo
- controllori
- valvole
- computer
- strumenti analitici

b) Sistemi antincendio

c) Agitatori

d) Scambiatori

e) Pompe

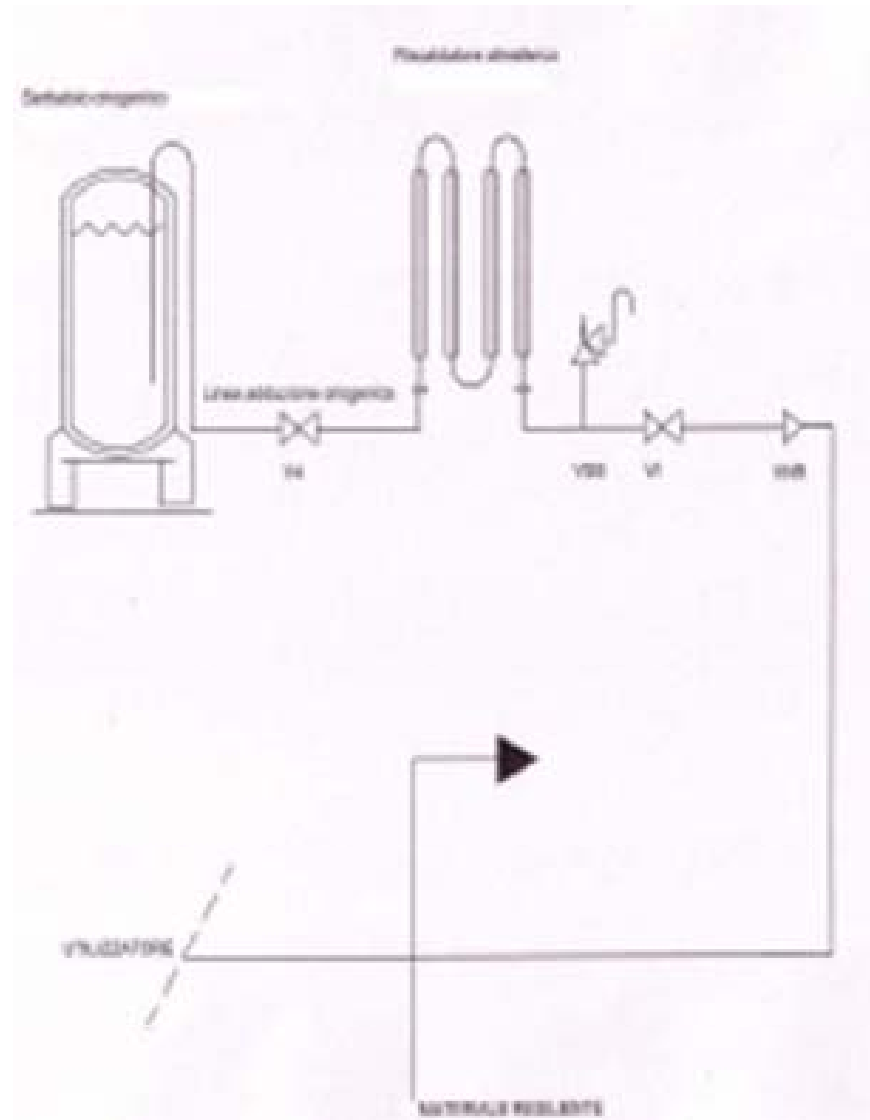
f) Compressori



ERRORI UMANI

- a) Errata chiusura di una valvola sulla mandata di una pompa
- b) Errata procedura
- c) Errato caricamento
- d) Mancato intervento
- e) Manovra di emergenza errata

UN ESEMPIO DI ANALISI DEL RISCHIO DI IMPIANTO: I CONTENITORI CRIOGENICI



IL CASO DEI SERBATOI PER GAS CRIOGENICI

I serbatoi per gas criogenici sono dei contenitori di materia fredda.

Le maggiori utilizzazioni riguardano fluidi come ossigeno, anidride carbonica, azoto, protossido d'azoto e argon e si ritrovano negli ospedali, negli ambienti sanitari in genere, nel processo industriale di inertizzazione, nell'industria alimentare, etc.

A pressione atmosferica i seguenti gas liquefano al di sotto delle temperature indicate in °C

<i>ossigeno</i>	- 183
<i>azoto</i>	- 196
<i>argon</i>	- 186
<i>Anidride carbonica</i>	- 88
<i>Protossido d'azoto</i>	- 88

CONTENITORI

Sono costituiti principalmente da due contenitori di cui uno interno all'altro, creando uno spazio intercapedine in cui si realizza un sistema di isolamento dal sistema esterno

Per le basse temperature si utilizzano materiali adatti aventi contemporaneamente sia una buona duttilità e sia una ottima resistenza meccanica, nonché tutte le caratteristiche di compatibilità con il fluido da contenere. Generalmente acciai inossidabili



PERICOLO DI INFRAGILIMENTO MATERIALE

Il pericolo è che del fluido criogenico possa superare l'evaporatore in avaria, senza essere gassificato opportunamente e quindi entrare in contatto con materiale non adatto, e per di più anche con una certa pressione.

Purtroppo l'incidente è avvenuto a causa di tale pericolo nel 2002 .

L' ISPEL ha ritenuto opportuno far inserire un dispositivo capace di effettuare una sicurezza del tipo "attivo". Questo potrà essere costituito da una valvola di blocco o, in alcuni casi anche da una valvola modulante.



Lo stabilimento Ppg dove è avvenuta l'esplosione

Scoppia un serbatoio di azoto in un'azienda di vernici a Caivano tra Napoli e Caserta: 4 morti

1998 Esso Longford gas explosion



Una pompa che alimenta olio caldo ad uno scambiatore di calore in un impianto per la lavorazione di gas si arresta per parecchie ore. A causa della assenza di flusso di olio caldo nello scambiatore, la sua temperatura interna, che normalmente è di 100 °C e più, scende a -48°C.

Si osserva formazione di ghiaccio all'esterno dello scambiatore.

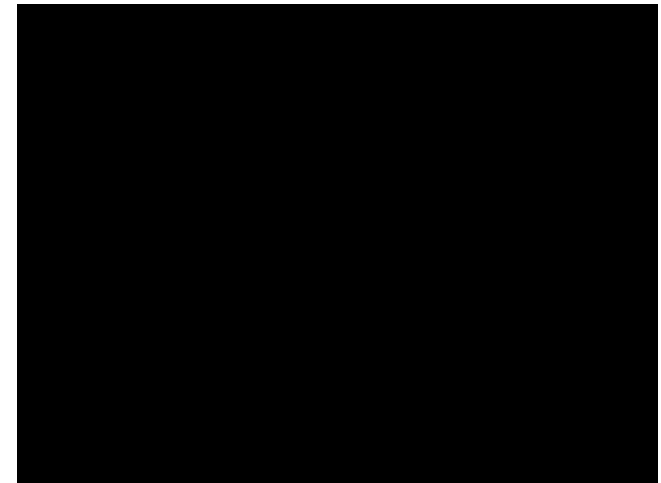
Quando la pompa dell'olio caldo viene riattivata, riprende il flusso dell'olio caldo nello scambiatore. La bassa temperatura porta lo scambiatore di calore in acciaio a diventare fragile e l'escursione termica di 150°C dovuta all'improvviso flusso di olio caldo provoca uno stress ulteriore. Si ha la rottura per fragilità dello scambiatore di calore. Viene rilasciata una nube vaporizzata con più di 10 tons di gas infiammabile che immediatamente prende fuoco.

L'esplosione e le fiamme uccidono 2 operai



DUTTILITA' E TENACITA'

Un acciaio e' considerato sufficientemente duttile se l'allungamento dopo la rottura, in una prova di trazione effettuata secondo un procedimento standard, è pari almeno al 14% e se l'energia di flessione da urto, misurata in provetta ISO V, e' pari almeno a 27 J ad una temperatura al massimo pari a 20 gradi C, ma non superiore alla temperatura minima di esercizio prevista.



UN CLASSICO ERRORE IMPIANTISTICO



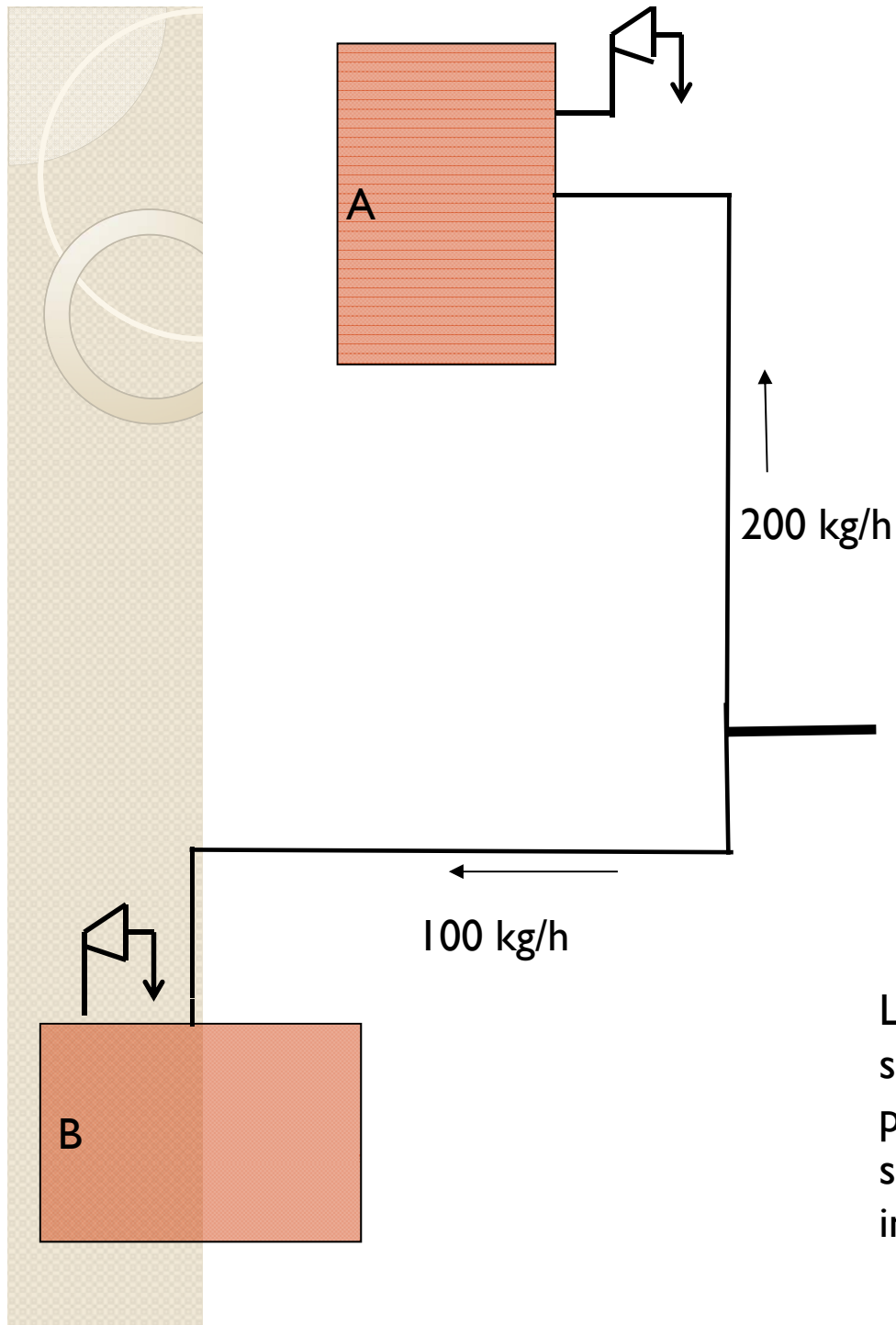
Il serpentino esterno del serbatoio è bollato a 7 bar e riceve vapore a 5 bar da un generatore con PSV tarata a 8,2 bar. La centrale termica è molto distante e pertanto la caduta di pressione nel tragitto dalla centrale termica all'apparecchio è 2,2 bar.

$$8,2 \text{ bar}_{\text{pressione PSV}} - 2,2 \text{ bar}_{\text{caduta di pressione}} = 6 \text{ bar} \square 7 \text{ bar}_{\text{pressione di progetto serpentino}}$$

L'apparecchio viene perciò montato senza PSV lato serpentino.

se la valvola di uscita del serpentino viene chiusa per errore , alla pressione dinamica si sostituisce la pressione statica. Le perdite di pressione si azzerano e il serpentino si porta alla stessa pressione del generatore

$$5 \text{ bar}_{\text{pressione esercizio}} + 2,2 \text{ bar}_{\text{caduta di pressione}} = 7,2 \text{ bar} \triangleright 7 \text{ bar}_{\text{pressione di progetto serpentino}}$$

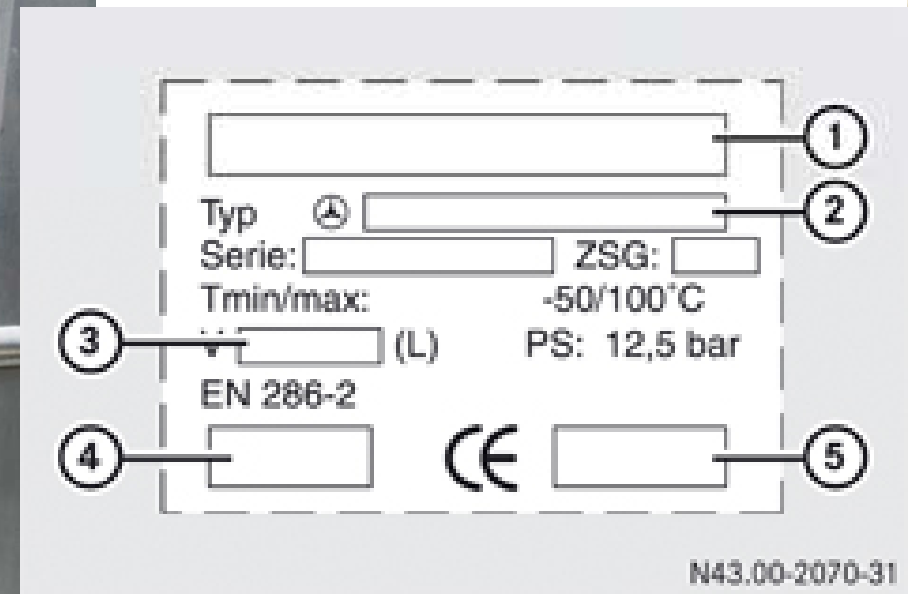


300 Kg/h di gas vengono distribuiti in due sezioni di impianto dove sono i serbatoi A e B bollati alla stessa pressione e di volume diverso. Tali serbatoi sono regolarmente protetti da due PSV che hanno la stessa pressione di taratura ma sono dimensionalmente diverse in rapporto alla diversa portata di gas che ricevono.

Le PSV devono avere la stessa portata di scarico pari alla somma delle due portate parziali se non si può escludere l'ipotesi che solo uno dei due serbatoi possa essere intercettato con impianto in esercizio

MODALITA' DI SVOLGIMENTO DELLE VERIFICHE

individuazione dell'attrezzatura



ESAME VISIVO

Controlli



ISPEZIONE VISIVA
INTERNA



CONTROLLO
SELLE

ESTI

ESAME VISIVO



CONTROLLO
CAMERA DI
COMBUSTIONE
GENERATORE A
TUBI DI ACQUA



CONTROLLO VISIVO
PIASTRA TUBIERA



CONTROLLO
CORPO
CILINDRICO
INFERIORE



LA VERIFICA DI VISITA INTERNA : COSA CERCARE

- Cricche sulle piastre tubiere dei generatori a tubi da fumo
- Deformazioni dei tubi d'acqua
- Cricche sui collettori delle caldaie a tubi acqua all'attacco dei tubi o sulle saldature
- Incrostazioni calcaree
- Cricche sulle piastre tubiere dei generatori a tubi da fumo
- Gibolature dei focolari o deformazioni tubi da fumo nei generatori a tubi da fumo
- Attacchi acidi:vaiolature
- Attacco da ossigeno diffuso o pitting

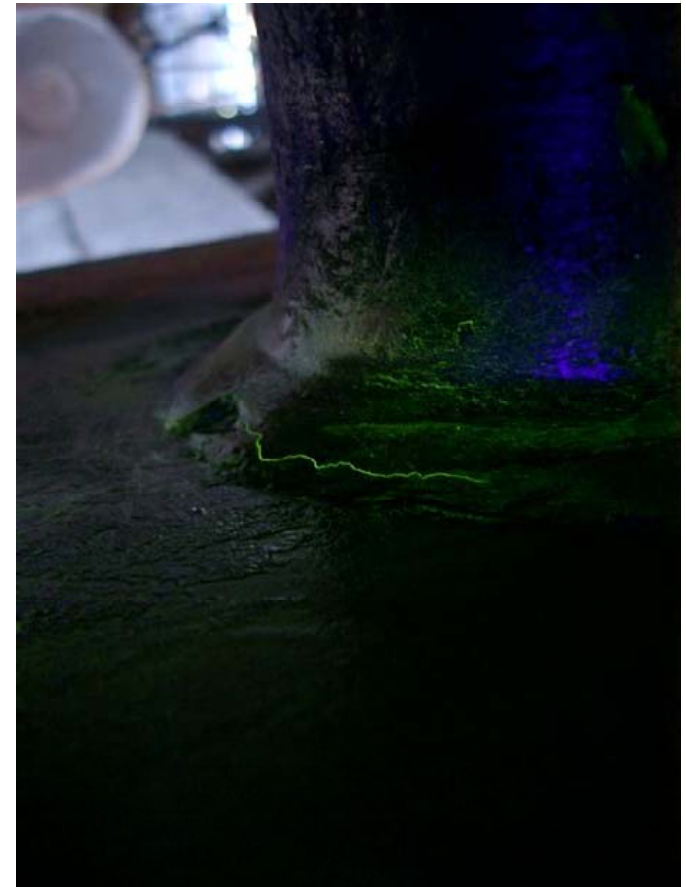
ESAME CND



LP



Spessimetria US



Magnaflux

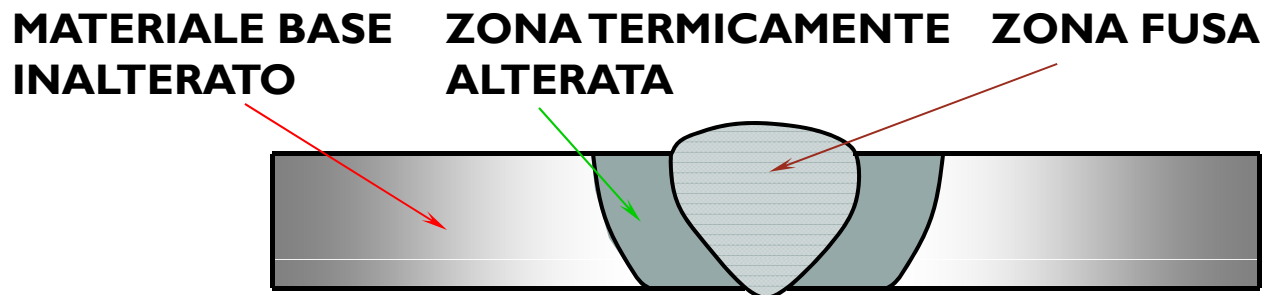
STRUTTURA DEL GIUNTO: MATERIALE BASE, ZONA FUSA E ZONA TERMICAMENTE ALTERATA

La **saldatura autogena per fusione** è un processo di giunzione che viene realizzato grazie alla fusione del materiale d'apporto e di una porzione del materiale base.

Nel giunto saldato per fusione vengono distinte tre zone differenti:

- la **ZONA FUSA** è costituita dal materiale che, durante l'esecuzione della saldatura, ha raggiunto la temperatura di fusione;
- la **ZONA TERMICAMENTE ALTERATA** è costituita dal materiale che, durante l'esecuzione della saldatura, ha subito un'alterazione della propria microstruttura a causa dell'elevata temperatura raggiunta;
- il **MATERIALE BASE INALTERATO** è costituito dal materiale nel quale la variazione di temperatura non ha causato alterazioni significative.

L'espressione “**cordone di saldatura**” viene utilizzata in alcuni casi per indicare la singola passata, in altri per indicare l'insieme delle passate.

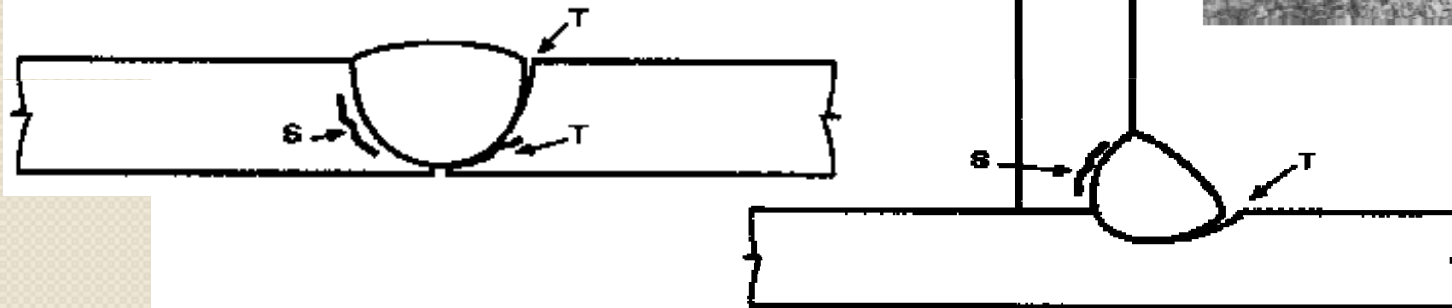
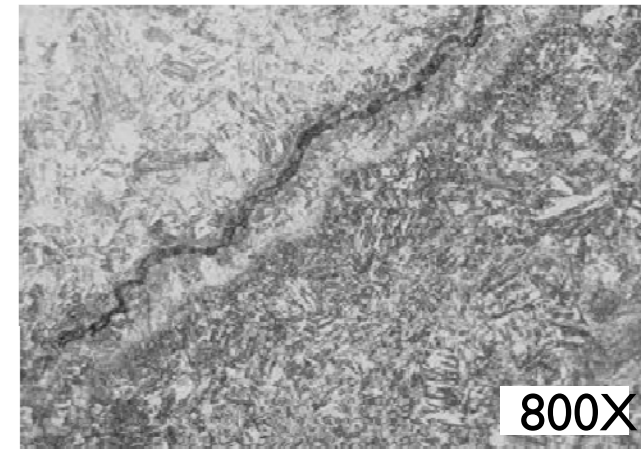
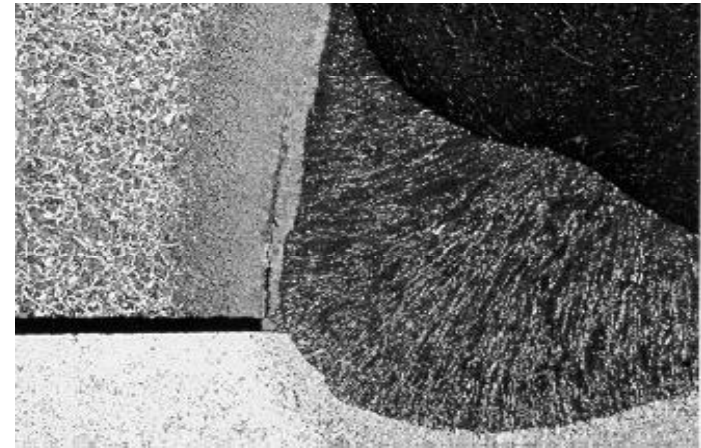


CRICCHE A FREDDO

Sono cricche di tipo **transgranulare**
Hanno **andamento generalmente longitudinale**

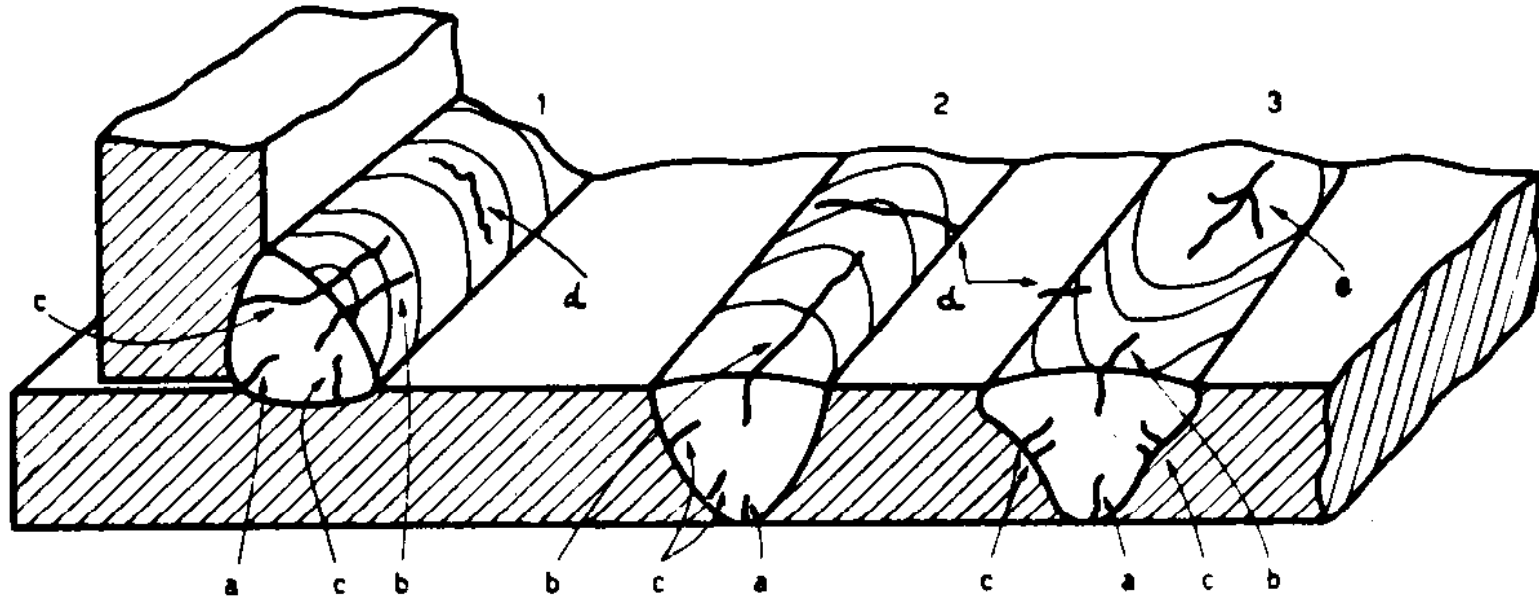
Se il tenore di idrogeno è particolarmente elevato, la rottura si verifica appena raggiunta una **temperatura sufficientemente bassa**

Se il tenore di idrogeno non è così elevato, si possono verificare **con notevole ritardo** (fino a 48h)



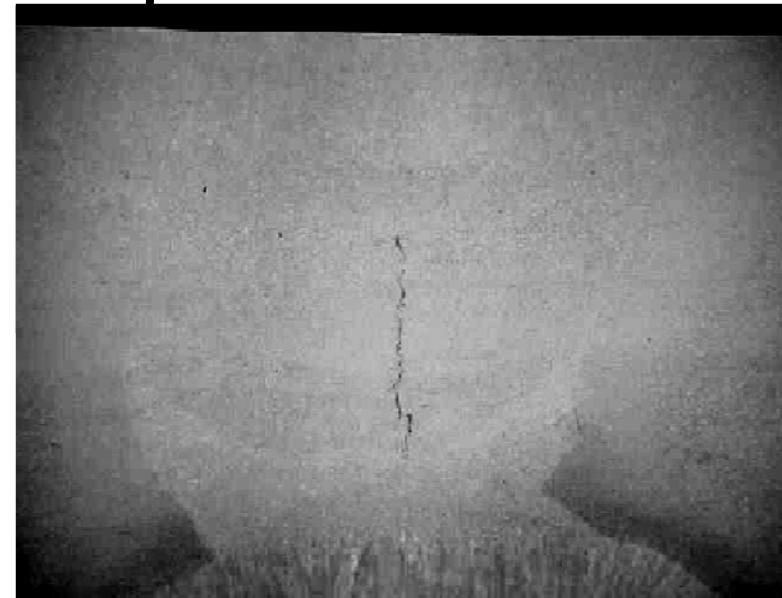
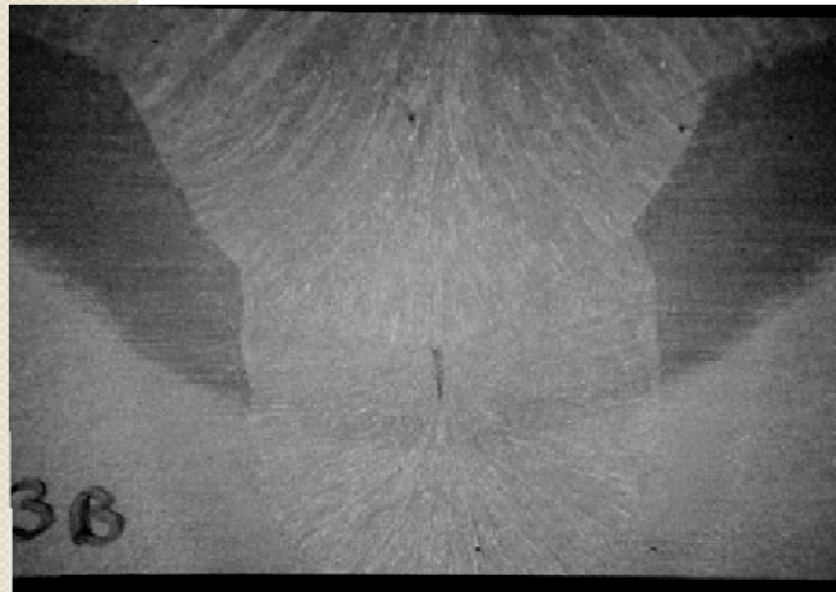
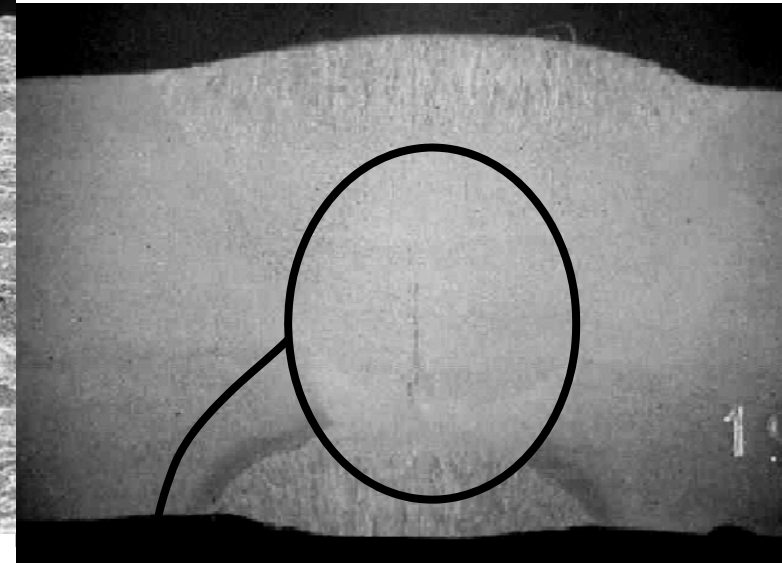
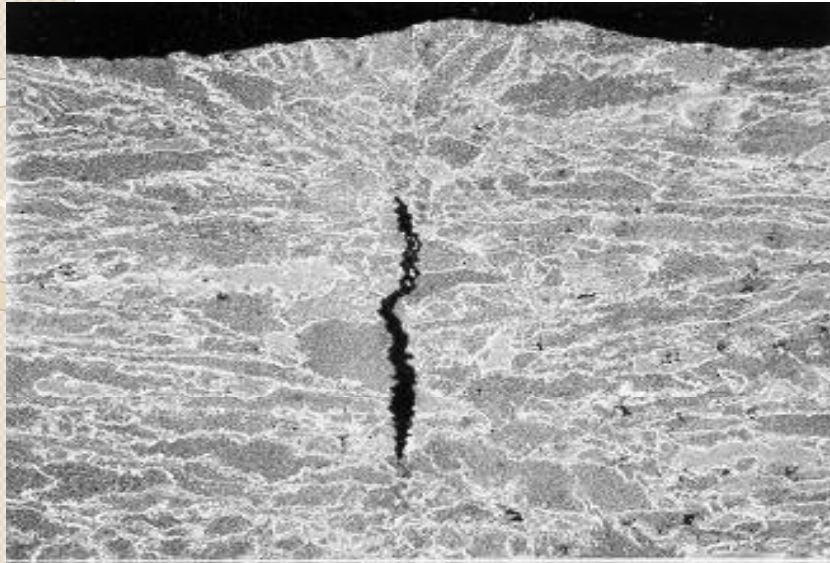
CRICCHE A CALDO

Hanno origine nei punti che solidificano **per ultimi**



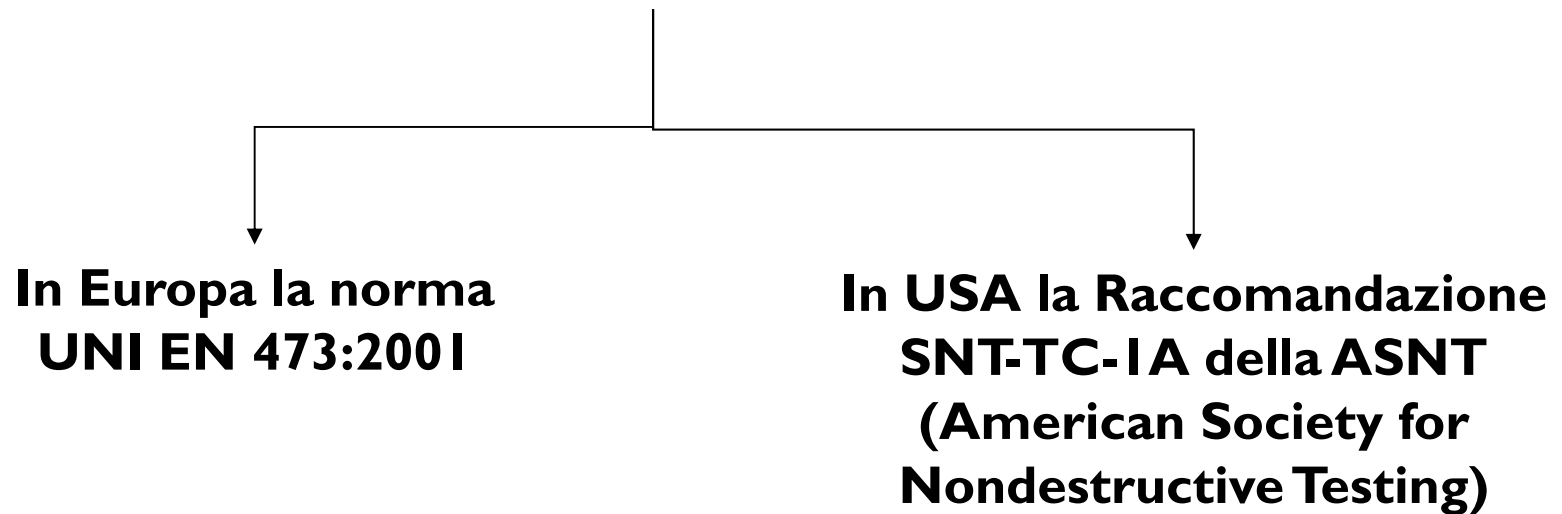
- a = Cricche longitudinali alla radice della saldatura;
- b = Cricche longitudinali sul diritto lungo l'asse della saldatura
- c = Cricche interdendritiche;
- d = Cricche trasversali;
- e = Cricche di cratere.

Cricche a caldo



SISTEMI DI QUALIFICA E DI CERTIFICAZIONE

I principali schemi di qualifica e certificazione nel campo dei controlli non distruttivi sono:



IN PED OCCORRONO CERTIFICAZIONI EN 473 FINALIZZATE PED

CONTROLLO CON LIQUIDI PENETRANTI (PT)

Norme di Metodo

UNI EN 571 (1-3): Esame con liquidi penetranti. 1-Principi generali, 2-Procedure di verifica dei prodotti, 3-Blocchi di riferimento

EN ISO 3452-4: Penetrant testing - Equipment

UNI EN ISO 3059: Esame con liquidi penetranti e controllo magnetoscopico - Condizioni di visione

Norme di Prodotto

UNI EN 1289: Controllo con liquidi penetranti delle saldature. Livelli di accettazione

UNI EN 1371 (1-2): Fonderia. 1-Getti colati in sabbia, in conchiglia per gravità ed a bassa pressione, 2-Fusioni a cera persa

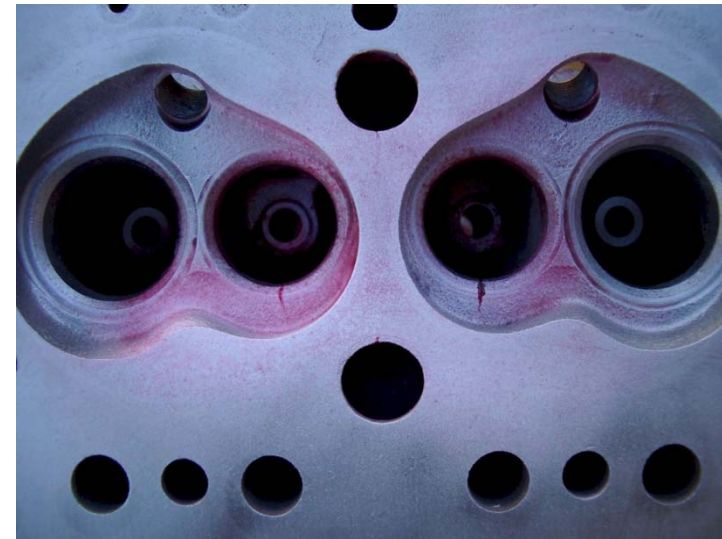
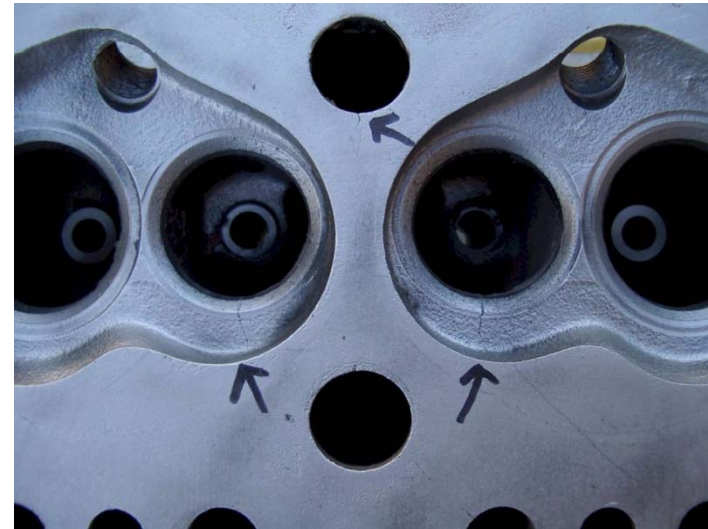
UNI EN 10228-2: Controllo con liquidi penetranti dei fucinati di acciaio

PRINCIPI FISICI LP

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

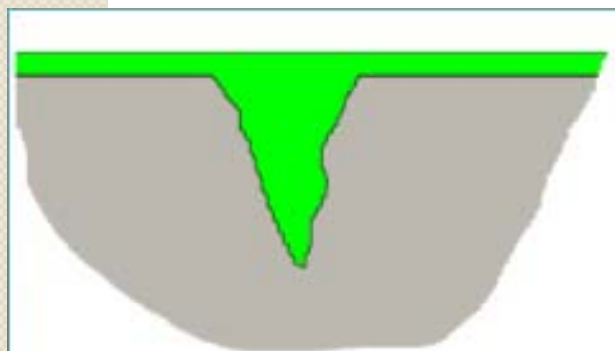
L'eccesso di penetrante viene poi **rimosso** dalla superficie per consentire l'applicazione del **rilevatore**, la cui funzione è esaltare il contrasto tra il penetrante e la superficie in esame



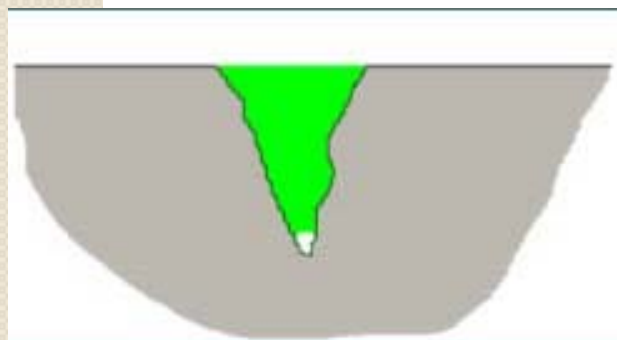
PROCEDURE DI CONTROLLO

1) Pulitura preliminare

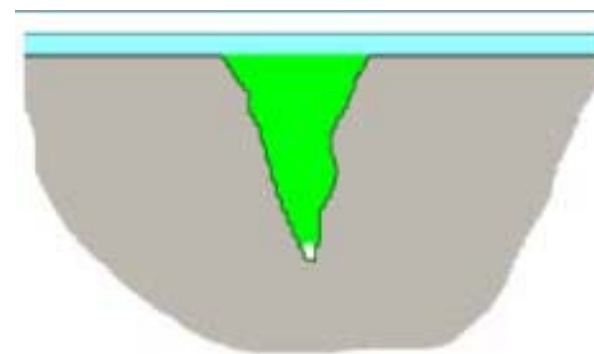
2) Applicazione del penetrante



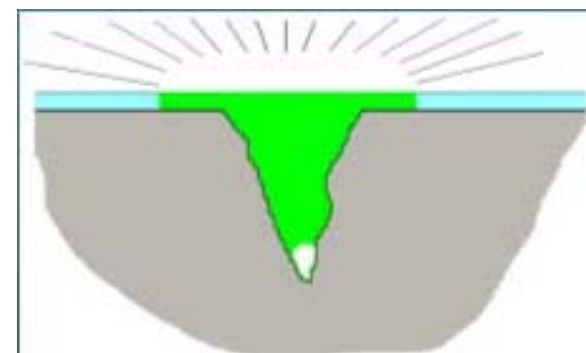
3) Rimozione dell'eccesso di penetrante



4) Applicazione del rivelatore



5) Interpretazione delle indicazioni



6) Pulitura finale

SENSIBILITÀ D'ESAME

In funzione della tipologia di prodotto, possono essere garantiti vari **livelli di sensibilità** di esame: quanto maggiore la sensibilità, tanto minore la minima dimensione delle discontinuità rilevabili

Si possono distinguere **quattro livelli di sensibilità**:

Level 4 - Ultra-High Sensitivity

Level 3 - High Sensitivity

Level 2 - Medium Sensitivity

Level 1 - Low Sensitivity

Va notato che, al crescere della sensibilità, cresce in proporzione anche il numero delle **indicazioni non rilevanti**

di fatto, la scelta della sensibilità deve tenere conto delle due esigenze

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

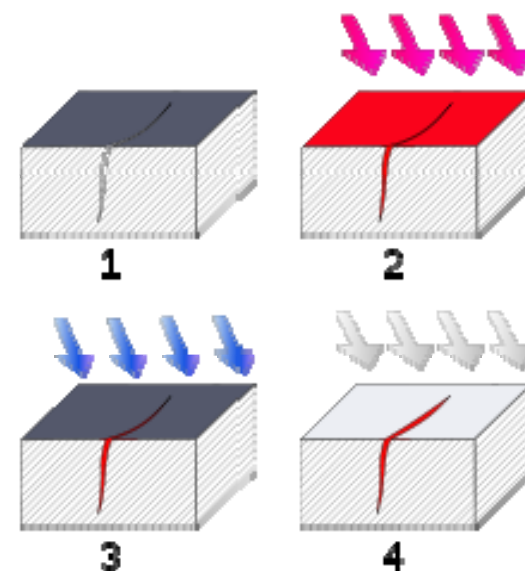
Rivelatori umidi, in soluzione acquosa: si tratta di prodotti che risultano disciolti nella fase liquida e ricristallizzano, dopo l'asciugatura

Rivelatori umidi base solvente: sono i prodotti più sensibili, costosi e di uso limitato a superfici poco estese. Forniti in bombolette spray, in genere



LE PRINCIPALI FASI DI CONTROLLO

1. Pulitura preliminare
2. Applicazione del penetrante
3. Rimozione dell'eccesso di penetrante
4. Applicazione del rilevatore
5. Valutazione delle indicazioni
6. Pulitura finale



PULITURA PRELIMINARE

- Le **superfici** devono essere prive di oli, grassi, primer, polvere o altri inquinanti per garantire un controllo affidabile
- Il **metodo di pulitura** deve garantire la pulizia delle superfici, senza alterare la natura del difetto o la sua accessibilità



La pulitura preliminare può essere considerata la fase più importante del metodo

TEMPO DI PENETRAZIONE (DWELL TIME)

E' un parametro **fondamentale**, per consentire al penetrante la necessaria risalita nella discontinuità

Il **tempo di penetrazione** è influenzato da numerosi parametri, tra cui:

- le temperatura della superficie
- il tipo di discontinuità
- la finitura superficiale
- il materiale base



RIMOZIONE DELL'ECCESSO DI PENETRANTE

Liquidi rimovibili con acqua

Si adopera un getto di acqua nebulizzata (spray)

Le procedure prevedono limitazioni tanto alla temperatura dell'acqua (ad esempio, 50-100°F) quanto alla sua pressione (inferiore, in genere, a 40 psi)



VANTAGGI

- 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

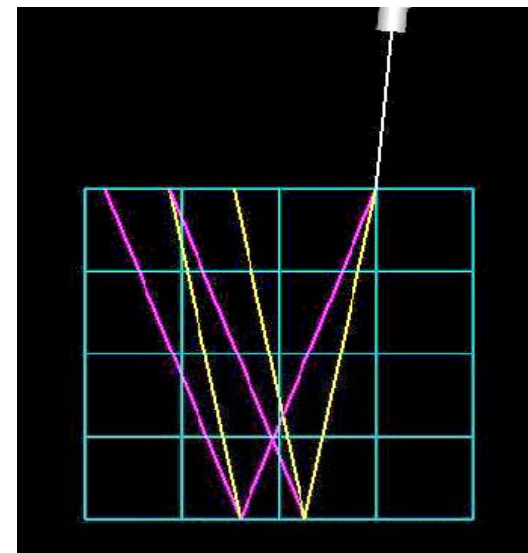
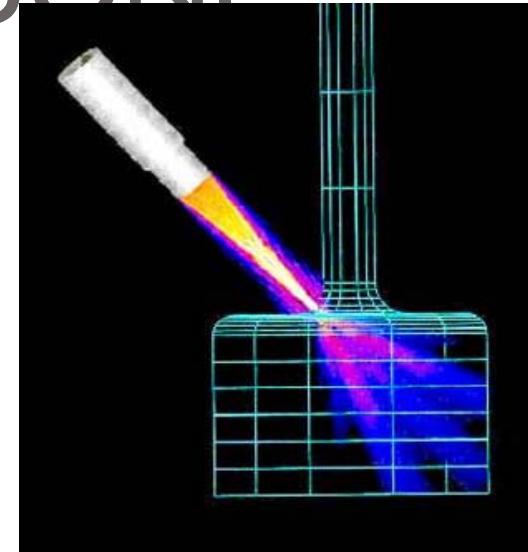
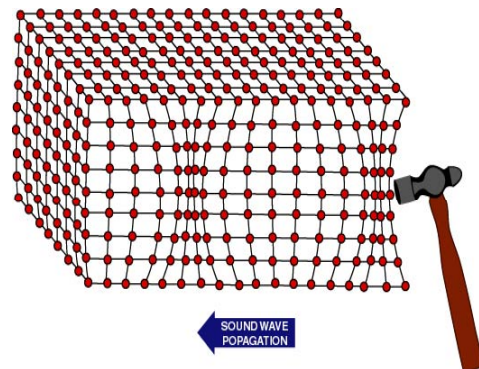
- Sono rilevabili solo discontinuità **affioranti in superficie**
- I materiali devono avere superfici non porose
- La **pulitura preliminare** è una fase critica (la sensibilità può risultare compromessa da inquinanti)
- Sono necessarie varie fasi da **procedurare**, per garantire la massima ripetibilità 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

PRINCIPI FISICI ULTRASUONI

Gli US vengono riflessi, rifratti e possono essere focalizzati.

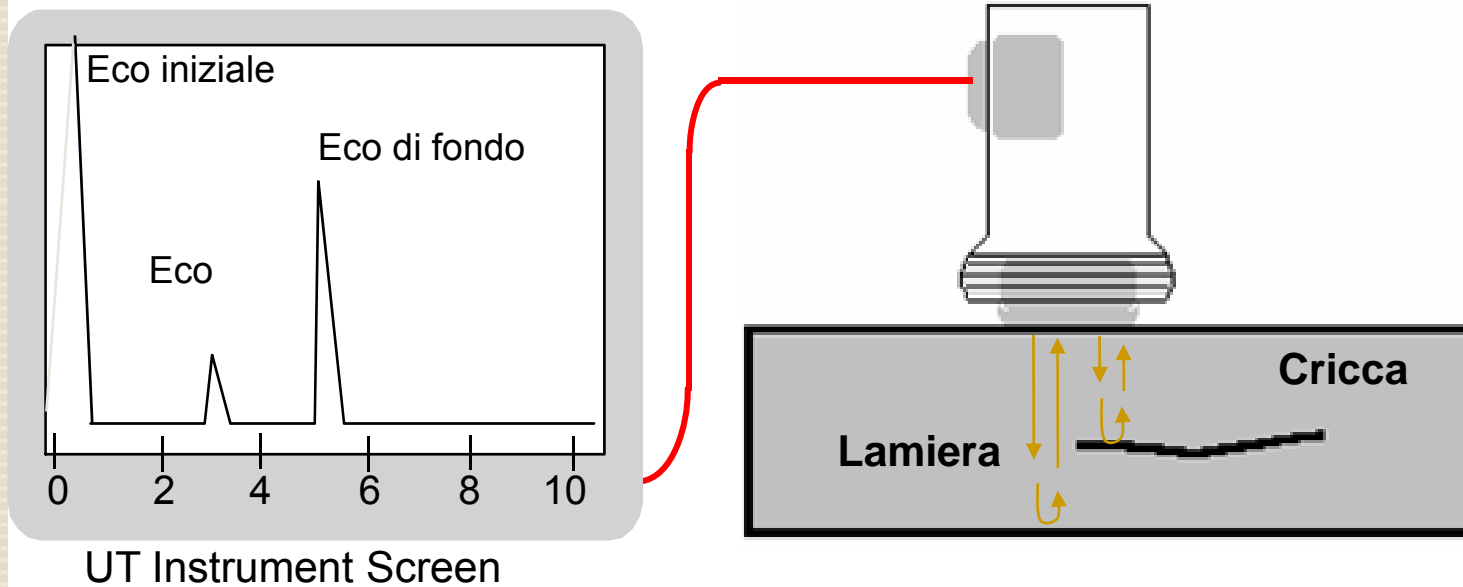
Riflessione e rifrazione hanno luogo nel passaggio tra due mezzi di diverse caratteristiche acustiche

Le riflessione del fascio in corrispondenza di discontinuità consente la loro caratterizzazione e posizionamento

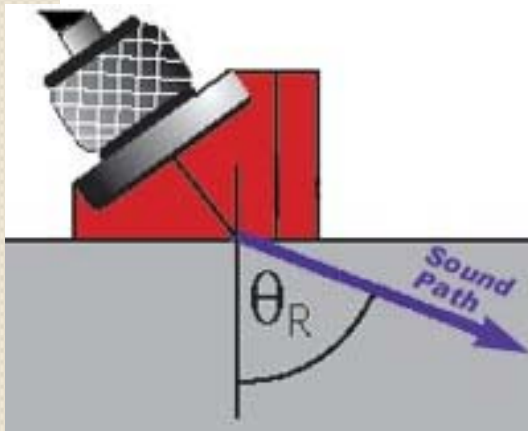


TECNICHE DI CONTROLLO: PULSE - ECHO

- Nel caso del pulse - echo, una sonda emette il segnale che viene poi ricevuto dalla sonda stessa o da un secondo trasduttore.
- La quantità di energia riflessa è rappresentata in funzione del tempo, con la possibilità di ottenere informazioni sulle dimensioni e la posizione del riflettore



Tecniche di controllo: sonde piane ed angolate



- Di norma, il fascio incide con un angolo retto sulla superficie del pezzo.
- Per certi tipi di controllo è invece necessario impiegare angoli minori di 90° .
- La scelta dell'angolo dipende da almeno due fattori:
 - Il probabile orientamento del riflettore.
 - La necessità di superare ostacoli presenti sul percorso del fascio

MISURA DI SPESSORI

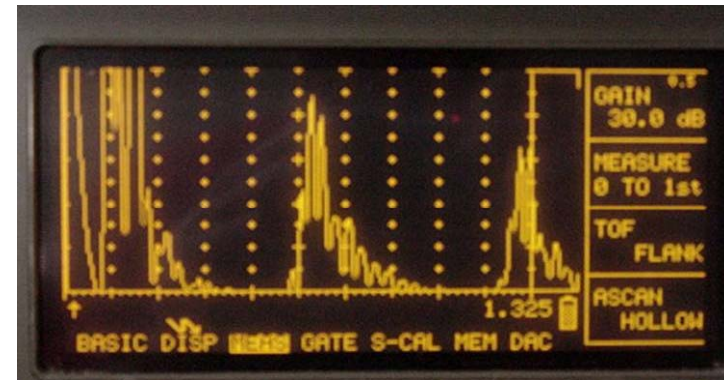
E' comunemente utilizzata (ad esempio nel chimico e petrolchimico) per monitorare gli spessori di parete in presenza di erosione o corrosione

- Tipiche applicazioni, il piping, i serbatoi, gli apparecchi

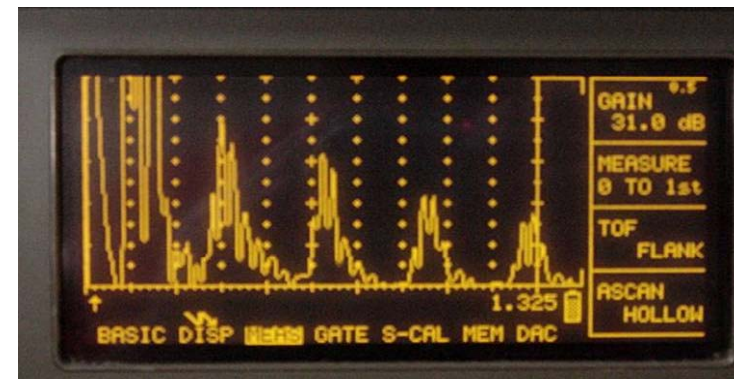


DIFETTI DI LAMINAZIONE

Esempio: verifica di difetti di laminazione in una trave laminata da 36”.



Segnale relativo al laminato sano.

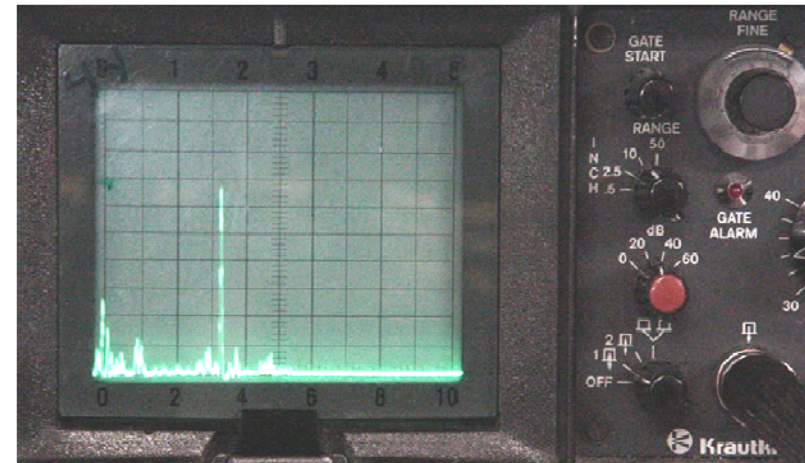
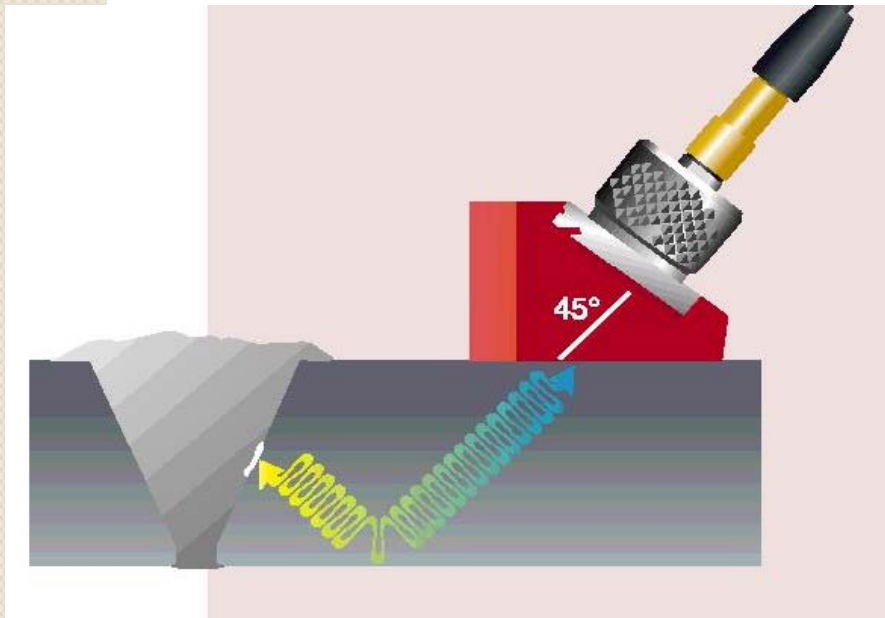


Segnale con echi intermedi

GIUNTI SALDATI

E' certamente una delle applicazioni più diffuse

Un caso tipico è il controllo di giunti testa a testa con sonde angolate ed onde trasversali



APPARECCHI ULTRASONORI

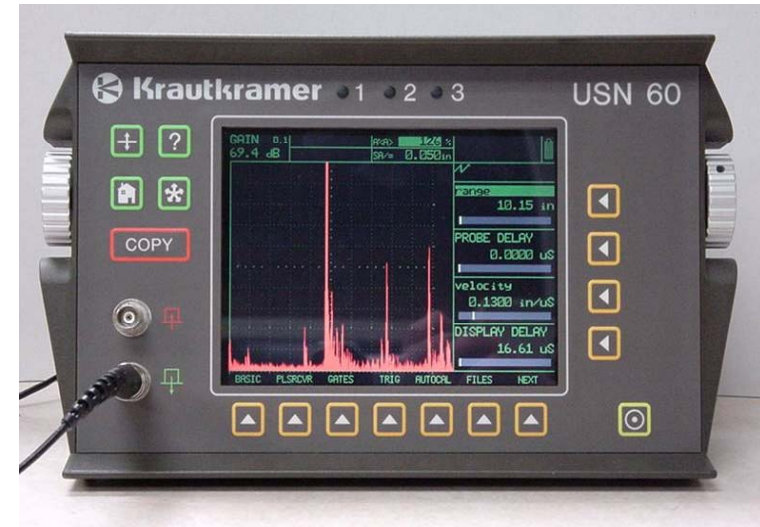
Gli spessimetri (digitali) sono utilizzati spesso in esercizio, nei casi di organi soggetti a corrosione / erosione



APPARECCHI ULTRASONORI

Gli apparecchi difettoscopici sono più complessi e costosi, per quanto possano essere utilizzati anche per spessimetria

Ci sono soluzioni analogiche o digitali e numerosissime possibilità di regolazione





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 bi e tridimensionali molto significative.
- Applicazioni spessimetriche.

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.



GRAZIE DELL'ATTENZIONE