Controllo CND Metodo Magnetoscopico “MT”

Move Forward with Confidence

BUREAU VERITAS

GENERALITA' SUL MAGNETISMO

In natura esistono materiali capaci attirare dei pezzetti di ferro posti in vicinanza, tali materiali detti **magneti** manifestano l'attrazione non su tutta la superficie ma su due zone opposte dette poli magnetici

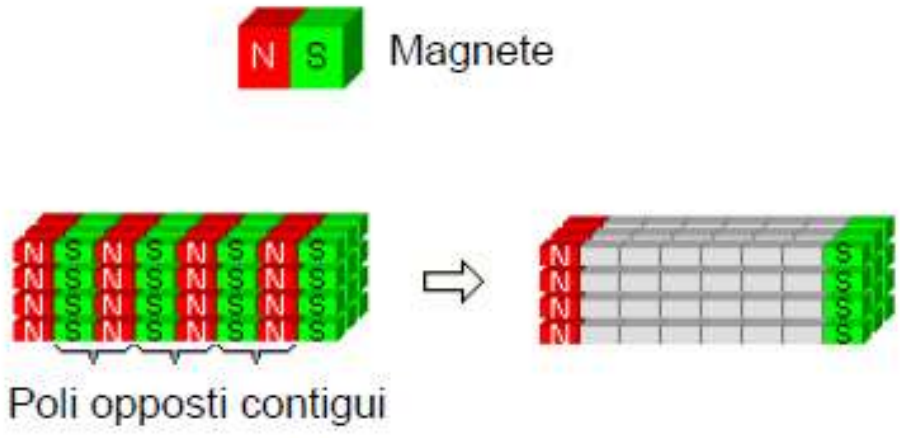
L'intensità delle forze di attrazione e repulsione tra due poli magnetici relativamente piccoli, idealmente concepiti come puntiformi, è inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza e direttamente proporzionale alla loro rispettiva intensità di magnetizzazione.

Dall'esperienza risulta che due poli omonimi si respingono e due poli eteronimi si attraggono

GENERALITA' SUL MAGNETISMO

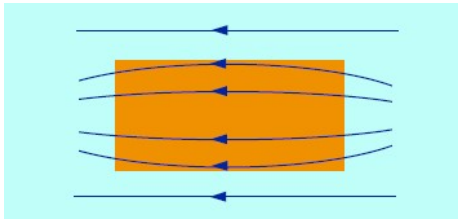
Altra proprietà peculiare del magnete è quella associativa o dissociativa; per esempio se esso viene suddiviso in 2 parti si ottengono altri 2 magneti, ciascuno con 2 poli Nord e Sud (proprietà dissociativa). Nella suddivisione si ottiene la comparsa di una nuova coppia di poli e altrettanto succede proseguendo nella suddivisione in 4, 8,ecc.

Come viene fatta la suddivisione viene meno la l'elisione fra poli eteronimi sulle nuove estremità create e si ha la comparsa di una nuova coppia di poli. Questo avviene anche quando si uniscono due poli eteronimi (proprietà associativa)

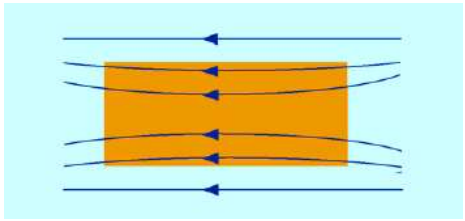


Materiali Para – Dia – Ferro - MAGNETICI

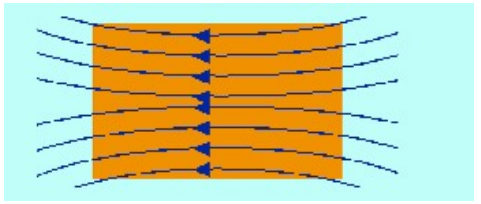
Materiali Diamagnetci: sono debolmente respinti dal magnete, il fenomeno è da attribuire alla reazione degli elettroni sotto l'influenza del campo magnetico.



Materiali Paramagnetici: sono debolmente attratti dal magnete. I singoli atomi costituiscono di per se dei deboli magneti elementari, suscettibili di orientarsi nella direzione del campo magnetico esterno.



Materiali Ferromagnetici: sono fortemente attratti dal magnete. I singoli atomi costituiscono di per se deboli magneti elementari come nel caso precedenti, ma con azione molto più intensa e per questo suscettibili di orientarsi naturalmente per mutua interazione



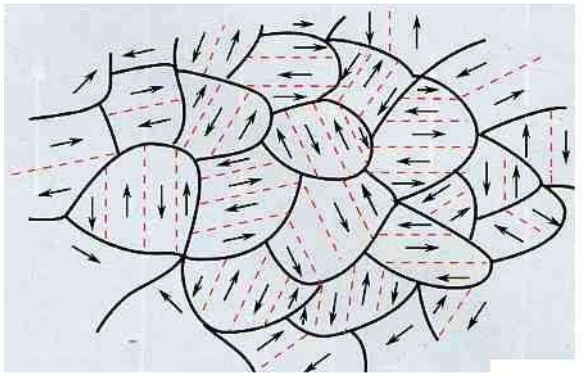
Materiali Ferromagnetici (Fe, Co, Ni e leghe)

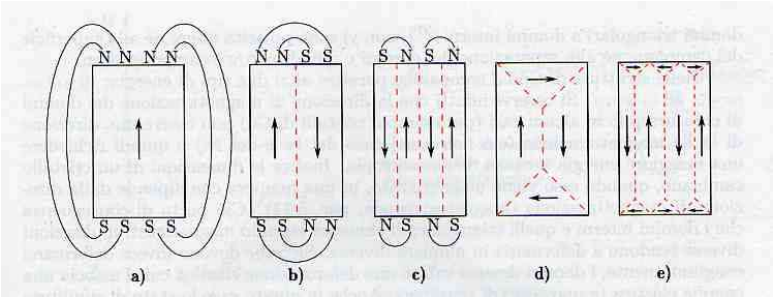
Il comportamento dei materiali ferromagnetici può essere spiegato facendo ricorso alla teoria dei domini di Weiss.

Interpretazione microscopica

Secondo la teoria fenomenologica di Weiss, in ciascun dominio il momento magnetico degli atomi ha la stessa direzione e quindi sono orientati concordemente.

In assenza di un campo magnetico esterno, ciascun dominio di Weiss è spontaneamente magnetizzato, però i momenti magnetici dei diversi domini sono orientati casualmente e non si hanno degli effetti macroscopici.





Materiali Ferromagnetici (Fe, Co, Ni e leghe)

L'applicazione di un campo magnetico esterno comporta che i domini che hanno momento magnetico orientato nel verso del campo esterno aumentino i loro confini alle spese degli altri domini, mentre gli altri tendono comunque a ruotare per disporsi favorevolmente.

Ciò porta ad un grande rafforzamento (fino a migliaia di volte) del campo esterno e quindi ad un'intensa magnetizzazione del materiale.

Quando cessa l'azione del campo magnetico esterno, rimane una magnetizzazione parziale, la cui intensità dipende dalla sostanza.

Alcuni materiali, come il ferro, si smagnetizzano non appena cessa l'azione del campo magnetico, altri, come l'acciaio (lega di ferro e carbonio), mantengono una magnetizzazione residua: i domini orientati del ferro si riportano nella situazione caotica precedente (magnetismo temporaneo), mentre quelli p.es. dell'acciaio rimangono orientati permanentemente (magnetismo permanente).

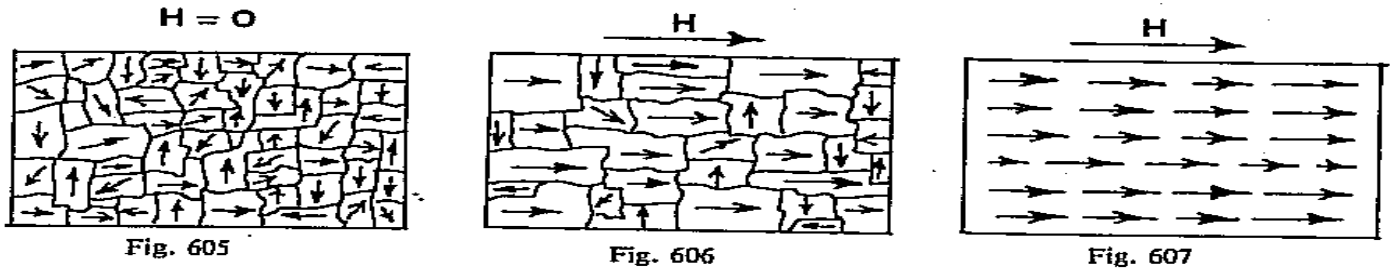


Fig. 605 Fig. 606 Fig. 607

Fig. 605 - Assenza di magnetizzazione: dominî magnetici orientati casualmente.

Fig. 606 - Inizio della magnetizzazione sotto l'influenza di un campo esterno; crescita preferenziale dei dominî orientati favorevolmente.

Fig. 607 - Saturazione magnetica: tutti i dominî magnetici sono orientati nella direzione del campo magnetico esterno.

Materiali Ferromagnetici (Fe, Co, Ni e leghe)

Un aumento di temperatura, causando disordine molecolare, diminuisce la tendenza alla magnetizzazione.

Per ogni elemento ferromagnetico esiste una temperatura critica detta di Curie.

Al di sopra della temperatura critica di Curie si ha il passaggio dal comportamento ferromagnetico a quello paramagnetico della sostanza.

(per il ferro la temperatura di Curie vale 1043 K, per la magnetite -magneti naturali - vale 858 K).

Esempio di materiali ferromagnetici e non-ferromagnetici	
Non ferromagnetici	**Ferromagnetici**
Alluminio	Acciaio
Argento	Cobalto
Magnesio	Ferro
Manganese	Ghisa
Platino	Leghe Fe-Si
Rame	Nichel
Ottone	
Titanio	

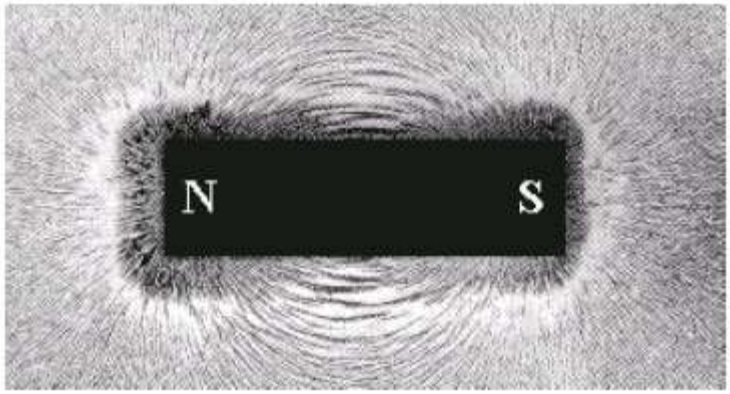
Campo magnetico

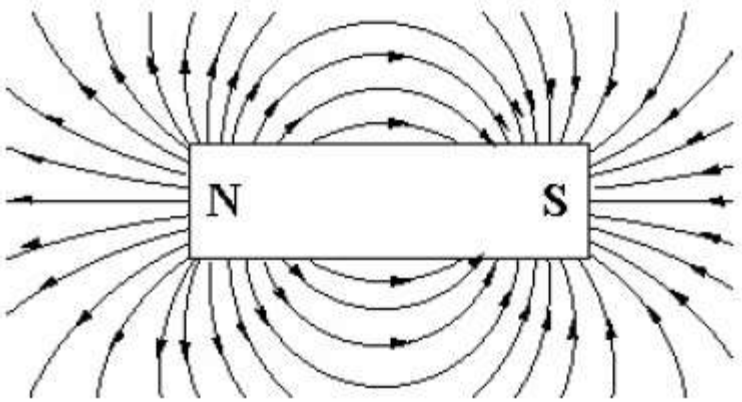
La regione di spazio attorno ad un magnete viene chiamata campo magnetico ed è evidenziabile ponendo sul magnete un foglio di carta cosparso con limatura di ferro.

Le particelle si dispongono secondo delle linee che congiungono i due poli. Queste linee, dette **linee di forza**, hanno una precisa direzione: escono dal polo N ed entrano nel polo S.

Un campo magnetico può essere creato da cariche elettriche in moto, cioè da **una corrente**, oppure da un **magnete permanente.**

Il campo magnetico è definito dalla intensità, dalla direzione e dal verso della forza che agisce in quel punto e viene indicato con il simbolo H.



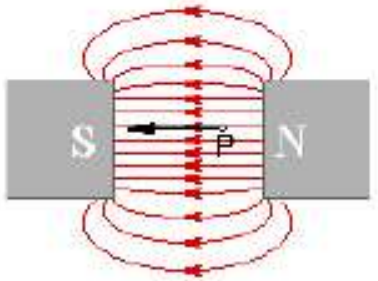


Campo magnetico

- Campo tra poli opposti (eteronimi)

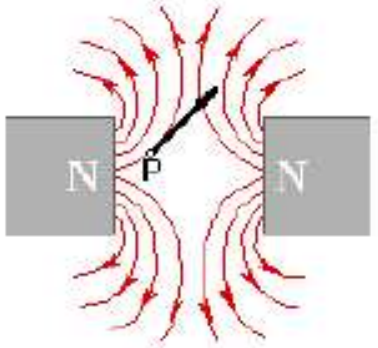
Due magneti con i poli opposti ravvicinati generano un campo magnetico approssimativamente uniforme (costante).

Un campo uniforme è rappresentato da linee di forza parallele ed equidistanti tra loro.



- Campo tra poli omonimi

A lato è schematizzato l'andamento delle linee di forza del campo magnetico generato da due magneti con i poli uguali (omonimi) ravvicinati.



- Magnete a 'C'

Un magnete a 'C' è ottenuto piegando un magnete a sbarra in modo da avvicinare tra loro i due poli.
In questo modo si ottiene, con un solo magnete, un campo magnetico uniforme (linee di forza parallele ed equidistanti) simile a quello che è possibile generare avvicinando i poli opposti di due magneti.



Conduttore rettilineo

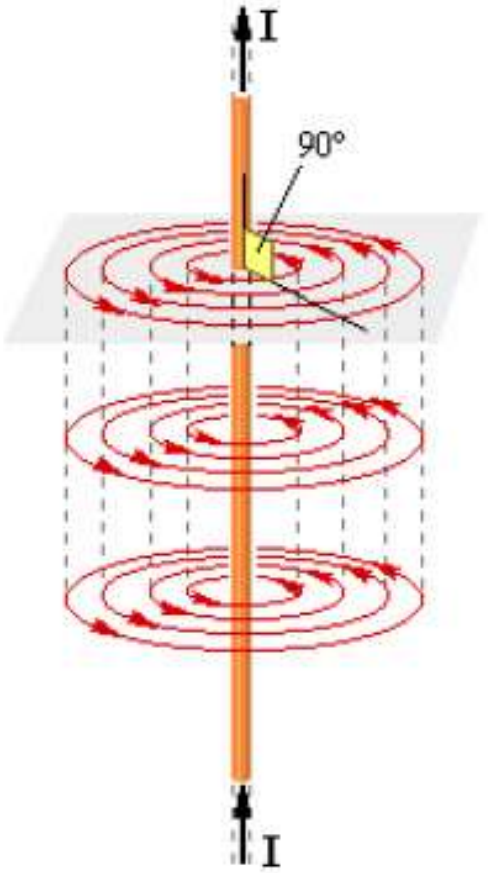
Una corrente elettrica in un conduttore produce attorno a se stessa un campo magnetico dove le linee di forza sono circonferenze concentriche all'asse del conduttore.

L'intensità del campo m. H all'esterno del conduttore è direttamente proporzionale all'intensità della corrente ed inversamente proporzionale al raggio r della circonferenza delle linee di forza m. secondo la legge di **Biot-Savart.**

$$H = I/2\pi r$$

In altre parole il campo m. si riduce di intensità man mano che ci allontana dal conduttore.

Le linee di forza sono concatenate con la corrente come gli anelli di una catena, in quanto **la barra può essere considerata come una spira di raggio molto grande o infinito.**



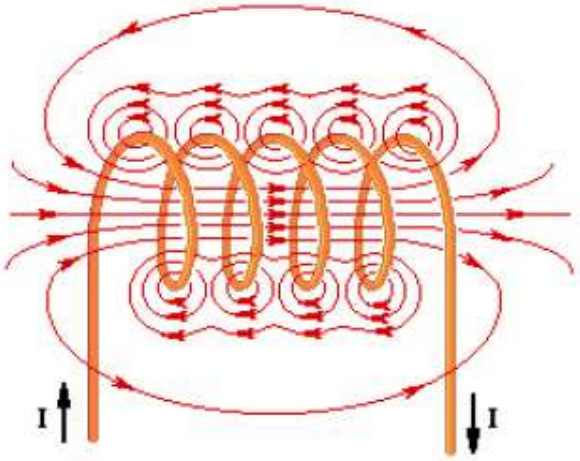
Bobina

Avvolgendo più spire si ottiene una bobina.

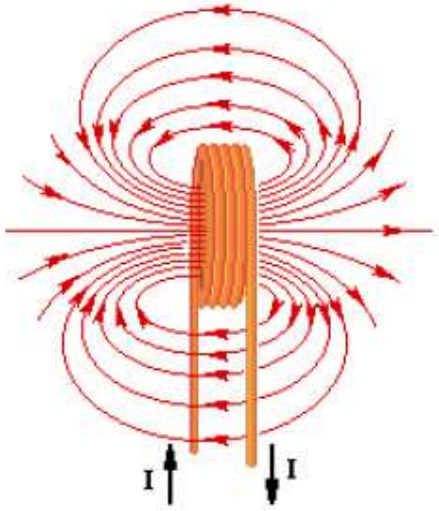
Il campo magnetico è concatenato con le spire , poiché le linee di forza formano un anello che scorre all'interno della bobina e si racchiude al suo esterno.

Se una bobina è formata da un numero N di spire, l'intensità del campo magnetico generato dal passaggio della corrente I è, al centro delle spire:

$$H = NxI/2r$$



Bobina di tipo allungato



Bobina di tipo piatto

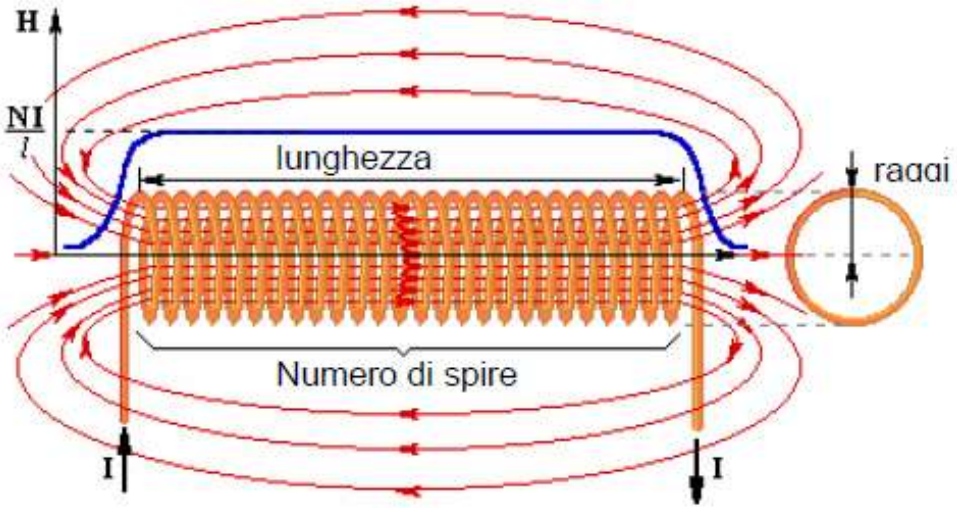
Solenoide

Una bobina lunga, con un rapporto lunghezza/raggio maggiore di 10, prende il nome di solenoide. Le linee di forza del campo magnetico si allungano parallelamente all'asse all'interno del solenoide e si racchiudono all'esterno.

Per un solenoide di lunghezza l, il campo lungo l'asse ha intensità pari a:

$$H = \frac{N \times I}{l} \quad [A/m]$$

L'intensità del campo si mantiene costante lungo tutto il solenoide tranne alle estremità, dove scende gradualmente a zero.



Induzione magnetica

Quando in una zona dove esiste campo magnetico si introduce un materiale ferromagnetico i suoi magnetini elementari tendono ad orientarsi secondo la direzione del campo m. , per cui **all'interno del materiale si genera una campo magnetico addizionale sovraimposto.**

Guardando la figura sotto possiamo notare che le linee di forza che entrano nel pezzo si addensano e si distribuiscono in maniera diversa. Si dice che il pezzo è magnetizzato per induzione.

Il pezzo si magnetizza e contemporaneamente il campo m. risultante si modifica in modo da **ridurre al minimo la sua energia**. Nella pratica le linee di forza assumono percorsi più brevi. Se per ridurre al minimo la sua energia il campo si modifica entrando nel pezzo, significa che il materiale **offre una permeabilità maggiore rispetto a quella dell'aria.**

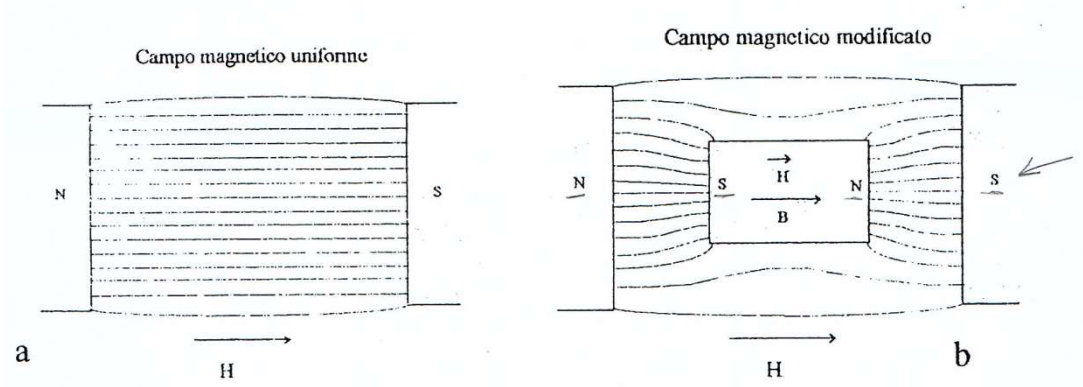


Fig.4 - Campo magnetico uniforme fra due teste polari parallele (a sinistra) e campo m. modificato con l'introduzione di un pezzo ferromagnetico (a destra).

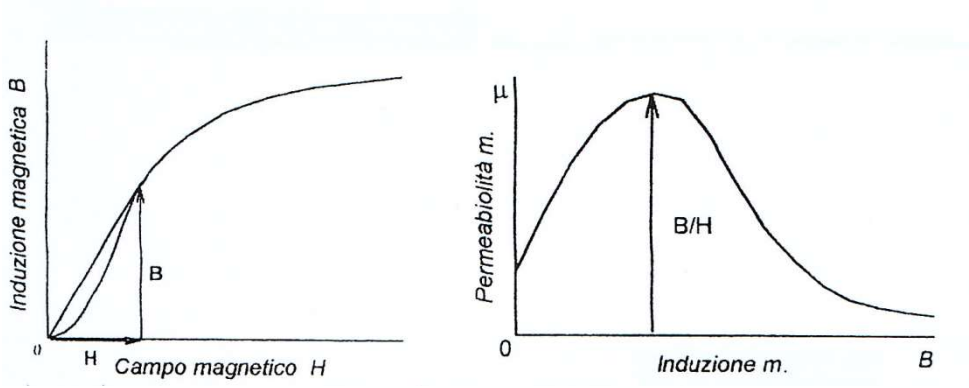
Permeabilità magnetica

μ può essere definita come l'attitudine di un materiale a magnetizzarsi sotto l'azione di un campo m. esterno H. L'intensità di magnetizzazione ottenuta è detta Induzione magnetica B.

$$B=\mu*H \rightarrow \mu=B/H \rightarrow B=\mu*H$$

Nei materiali ferromagnetici μ aumenta al crescere di B fino ad un **massimo per poi decrescere**.

Quasi tutti i mezzi omogenei hanno una permeabilità magnetica che può essere considerata costante, tuttavia per alcune sostanze (come ferro, cobalto, nichel) essa ha un comportamento che manifesta una certa isteresi, ovvero la permeabilità mostra una dipendenza dalle precedenti magnetizzazioni e smagnetizzazioni subite da tali materiali. Le sostanze per le quali si verifica tale comportamento sono **dette ferromagnetiche**. Nelle sostanze **non ferromagnetiche** il valore della permeabilità magnetica **differisce di poco rispetto a quella del vuoto**, e si dividono in **diamagnetiche** (in cui la permeabilità è minore dell'unità) e **paramagnetiche** (in cui la permeabilità è maggiore dell'unità).



Permeabilità μ in funzione di B (induzione)

Permeabilità assoluta, relativa e nel vuoto

Abbiamo detto che B = μ H, dove μ dipende dal mezzo in cui si svolge il campo di induzione magnetica:

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

dove μ0 = *permeabilità magnetica del vuoto* = $4\pi * 10^{-7}$ H/m

Se μr >>1 si parla di materiali ferromagnetici (per questi materiali μr non è costante, sono materiali non lineari, che presentano fenomeni di saturazione e isteresi magnetica).

La μr di un materiale riassume in sé le caratteristiche magnetiche del materiale stesso (**a parità di H, è maggiore B se è maggiore μr**).

Per i materiali ferromagnetici, μr = 500÷4000 (è un numero puro).

Curva di prima magnetizzazione

Il **comportamento di un materiale ferromagnetico** sottoposto ad un campo m. è in genere deducibile in base alla sua curva o caratteristica di prima magnetizzazione. Essa è tracciata su un piano cartesiano ponendo in ascissa il campo magnetico

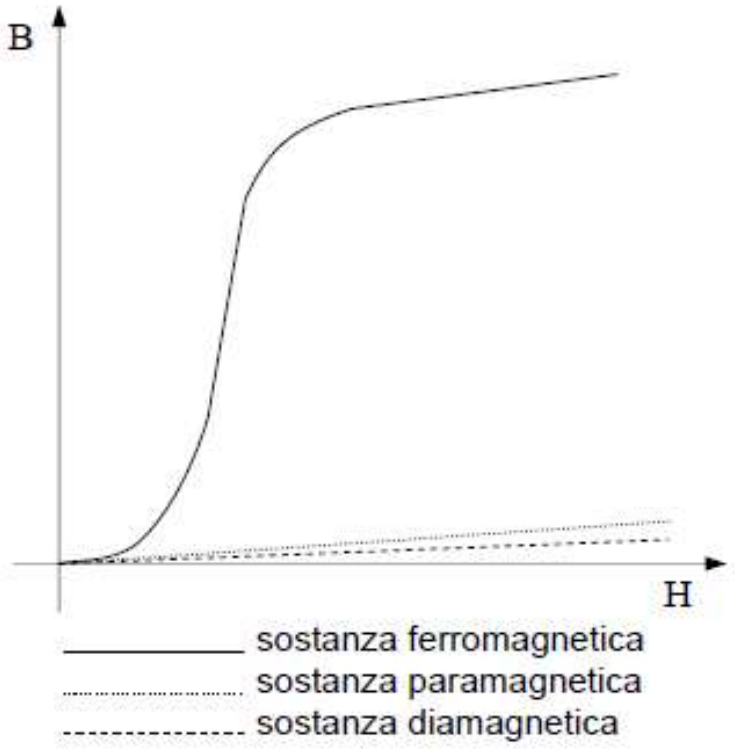
H ed in ordinata *l'induzione magnetica*

B.

Per i materiali ferromagnetici, B dapprima cresce lentamente, quindi sempre più rapidamente; oltre ad un certo punto

la crescita si riduce notevolmente, in corrispondenza al raggiungimento della condizione di *saturazione magnetica*

(tutti gli spin m. allineati nella direzione campo).



Isteresi magnetica

A partire dal momento in cui i campi sono nulli, e dunque è nulla la magnetizzazione del materiale, il campo magnetico aumenta seguendo la curva O-Hm, detta curva di prima magnetizzazione, fino al valore massimo di Hm in cui B aumenta proporzionalmente a μ*H. In tali condizioni l'induzione raggiunge il suo valore massimo, detto valore di saturazione magnetica.

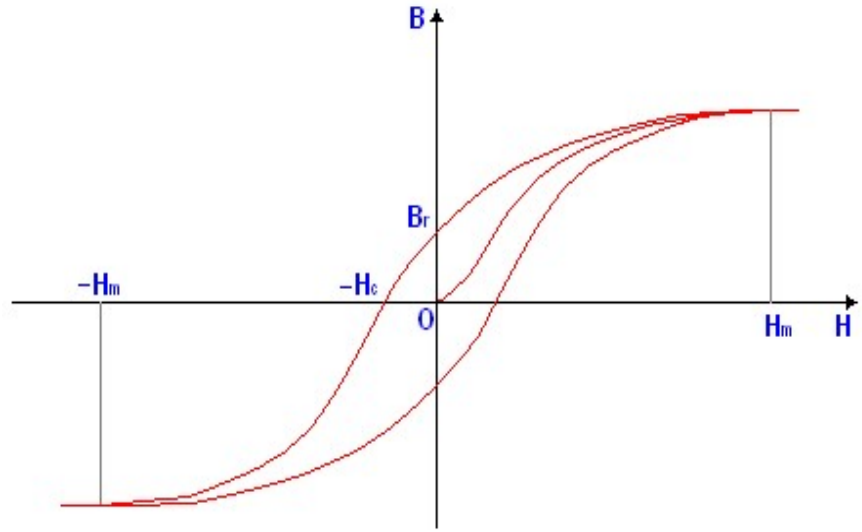
Diminuendo la corrente, diminuisce di conseguenza H, senza tuttavia ripercorrere la stessa curva, ma la curva Hm-Br. Per H = 0 risulta quindi che il campo magnetico non ritorna ad avere un valore nullo, ma acquista un'intensità pari a |B|= Br > 0. Tale valore è detto magnetizzazione residua:

Il materiale mantiene quindi una proprietà magnetica anche senza la presenza di un campo magnetico esterno.

Invertendo la corrente, inoltre, H e l'induzione diventano negativi, e quando il campo di induzione magnetica è nullo si ha |H| = **-Hc**. Tale valore è **detto campo / forza di coercizione**.

Infine, diminuendo ulteriormente H, anche B diventa negativo fino al valore -Hm in cui di nuovo i campi sono proporzionali e la magnetizzazione arriva al minimo assoluto. Ricominciando ad aumentare H, si ha il ciclo chiuso.

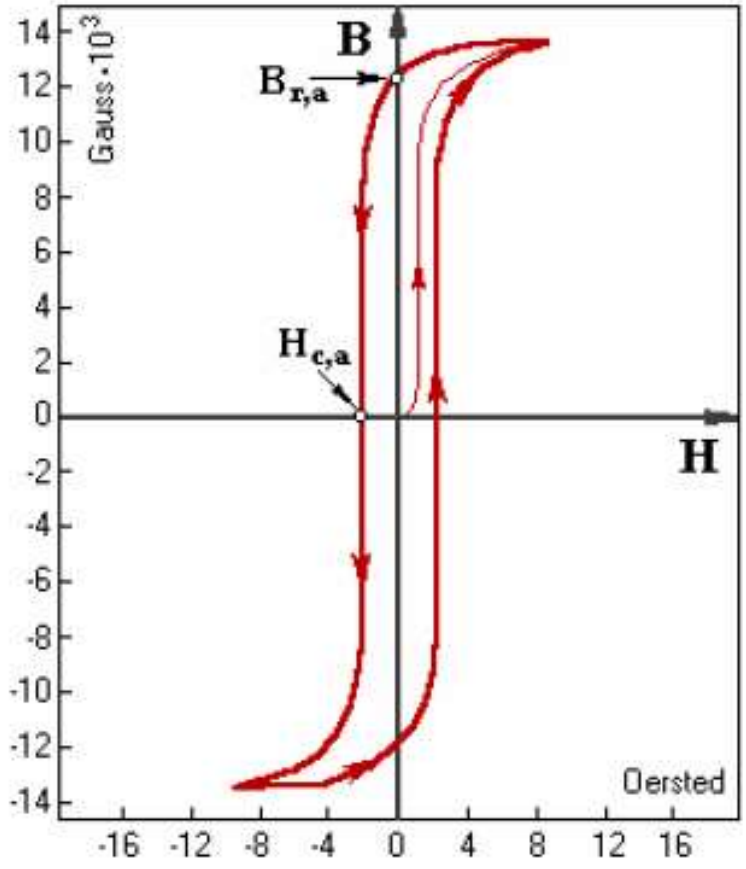
Tale ciclo si chiama ciclo di isteresi magnetica.



Isteresi magnetica – Ferro dolce

a) ferro dolce;

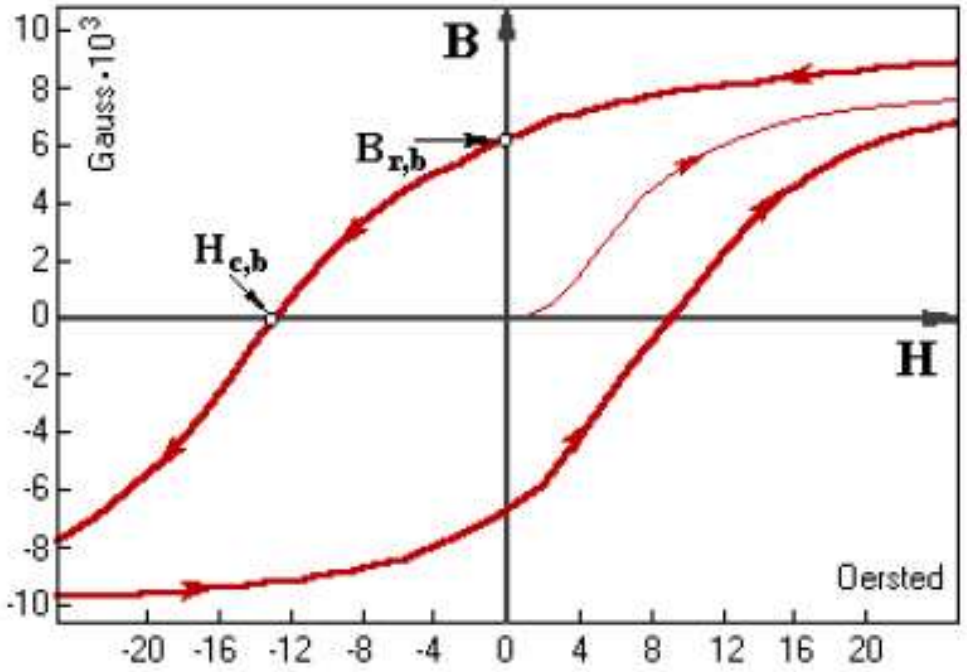
il ciclo di isteresi presenta una forte magnetizzazione residua ($B_{r,a}$) ma un debole campo coercitivo ($H_{c,a}$); ciò significa che un debole campo inverso è sufficiente a far perdere al materiale la magnetizzazione;



Isteresi magnetica – Acciaio al carbonio

b) acciaio al carbonio;

il ciclo di isteresi presenta una magnetizzazione residua debole ($B_{r,b}$) ma un forte campo coercitivo ($H_{c,b}$); questo significa che è necessario applicare un forte campo inverso per eliminare la magnetizzazione del materiale.



Flusso magnetico

Dove esiste un campo m. è possibile calcolare localmente, punto per punto, il valore dell'induzione B (entro un materiale ferromagnetico) o B_0 (nel vuoto o in materiali dia e para magentici). Accanto le linee di forza si possono tracciare le linee di induzione B.

Poiché ogni punto B è caratterizzata da intensità, direzione e senso, essa è una grandezza vettoriale, alla pari di H, per la quale si definisce il flusso Φ di B come il prodotto di B per l'area della sezione ad essa normale, interessata dalle linee di induzione.

Nell'ipotesi che B sia costante in tutta la sezione il flusso attraverso l'area A è dato da:

$$\Phi = B*A$$

Dove:

A = m^2

B = Wb/ m^2

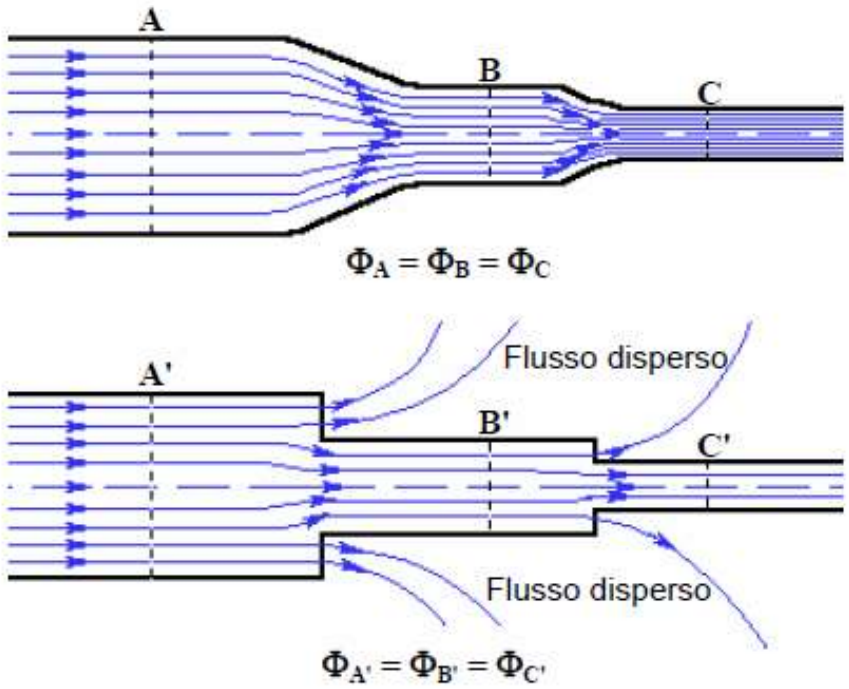
Φ = Wb

Flusso magnetico

Il flusso magnetico Φ è caratterizzato dalla costanza del suo valore lungo il “tubo di flusso” delimitato da una superficie laterale parallela alle linee di induzione, analogamente a quanto si ha per la portata di un fluido in una conduttura con sezione variabile.

Per due sezioni dello stesso “tubo di flusso” vale quindi la relazione :

Φ=B1A1 = B2A2



Magnetismo residuo

Il magnetismo residuo corrisponde al punto Br esso dipende da:

- caratteristiche magnetiche del materiale (composizione e struttura metallurgica)
- dalla forma
- dalle dimensioni

Il magnetismo residuo per gli acciai al carbonio **aumenta al crescere** del tenore di C, Cr, Mn e più in generale gli elementi che contribuiscono ad accrescere le caratteristiche meccaniche e le ghise.

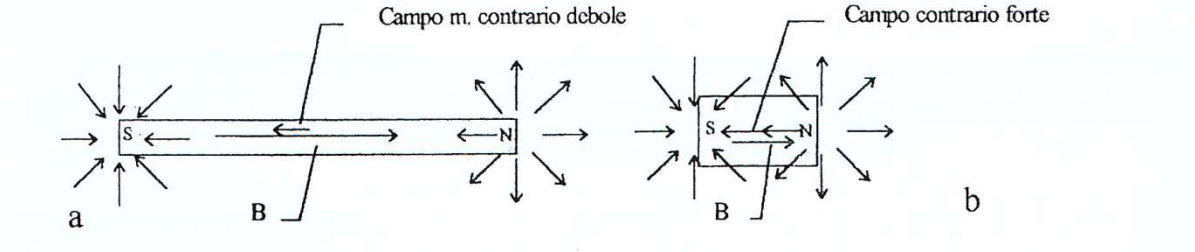
Il magnetismo residuo dipende anche dal trattamento termico e risulta **maggiore** nei trattamenti di tempra e bonifica e **minore** nei trattamenti **di ricottura** e **rinvenimento.**

Campo magnetico contrario e rapporto L/D

Lunghezza/diametro: L/D

Come già detto il magnetismo residuo dipende anche dalla geometria e dimensioni del pezzo. In un pezzo lungo e stretto con un rapporto L/D>10 i poli alle estremità del pezzo non si influenzano l'uno con l'altro e il magnetismo residuo tende a mantenersi alto.

Al contrario con L/D<4 i poli alle estremità tendono ad influenzarsi a vicenda provocando un campo contrario per cui il pezzo tende a smagnetizzarsi naturalmente.



a) Col pezzo relativamente lungo (L/D > 10) i due poli sono lontani ed il campo m. contrario da essi generato all'interno del pezzo è debole.

b) Se il rapporto L/D è < 2 il campo m. contrario da essi generato all'interno del pezzo è relativamente forte ed opposto al senso della magnetizzazione.

La proprietà di un materiale ferromagnetico a trattenere il magnetismo residuo e detta RETENTIVITA'

UN MAGNETE PERMANENTE E' UN MATERIALE AD ALTISSIMA RETENTIVITA'

Smagnetizzazione

A livello industriale per la smagnetizzazione si ricorre ad una sequenza di cicli di isteresi simmetrici decrescenti in modo da raggiungere contemporaneamente lo 0 sia del campo magnetico che dell'induzione in modo sicuro senza procedere per tentativi.

Ciò può essere ottenuto:

- mediante solenoide o tunnel
- mediante puntali /corrente

Con il solenoide o il tunnel percorso da corrente alternata, si può ottenere la smagnetizzazione sia facendo decrescere gradatamente fino a 0 la corrente oppure mantenendo la corrente costante ed allontanando lentamente il pezzo dalla bobina.

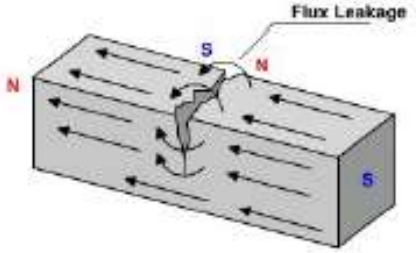
Unità di misura nell'esame magnetoscopico

Grandezze Elettromagnetiche	Sistema Internazionale	Unità elettromagnetiche	Conversioni
Campo Magnetico H	Amperespire/metro - A/m	Oersted Oe	1 A/m = 4*PI/1000 Oe
Forza Magnetomotrice F	Ampere A (o amperespire NI)	Gilbert Gb	1 Gb = 10/4*PI A oppure 1 A = 4*PI/10 Gb
Induzione Magnetica B	Tesla T o Wb/m^2	Gauss Gs	1 Gs = 10^{-4} Wb/m^2 oppure 1 Wb/m^2 = 10^4 Gs
Flusso d'induzione magnetica Φ	Weber Wb	Maxwell Mx	1 Mx = 10^{-8} Wb oppure 1 Wb = 10^8 Mx
Permeabilità magnetica μ_0 (nel vuoto e assoluta)	Wb / A*m	Gs / Oe	1 Gs/Oe = 4*PI*10^{-7} Wb/A m oppure 1 Wb/A m = 10^7 / 4*PI Gs/Oe
Permeabilità magnetica relativa μ_{rel}	Numero puro - adimensionale	Numero puro - adimensionale	

Principio di rivelazione delle discontinuità

Meccanismo di evidenziazione dei difetti

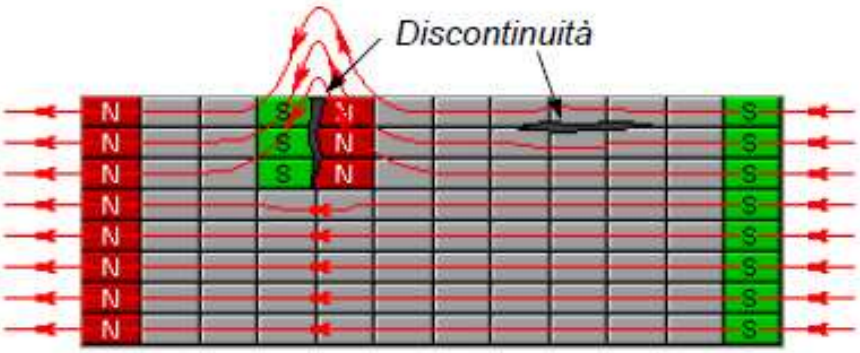
✓ La presenza di cricche o altri difetti provoca una "rottura" del campo magnetico naturale del pezzo, e le particelle di metallo magnetizzato si raggruppano in corrispondenza della discontinuità che funge da ulteriore dipolo magnetico

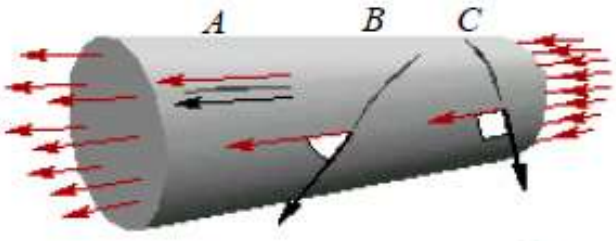


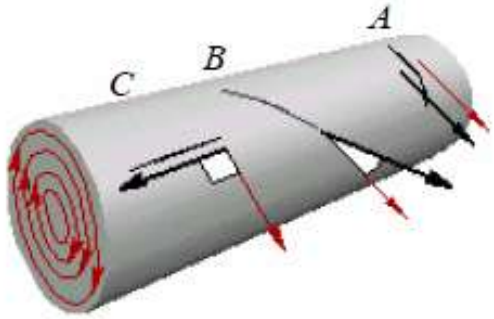
Si genera un flusso magnetico disperso.

Cospargendo con polvere magnetica l'area circostante la discontinuità, il campo m. disperso attira le particelle magnetiche, formandone un accumulo facilmente osservabile ad occhio nudo.

Principio di rivelazione delle discontinuità







direzione della discontinuità

direzione del campo magnetico

✓ Affinché il campo magnetico si alteri in modo significativo è necessario che la discontinuità sia il più possibile **perpendicolare alle linee di induzione** così da offrire una brusca variazione di permeabilità

✓ Se la discontinuità giace su un piano parallelo alle linee di induzione non si produce alcun accumulo

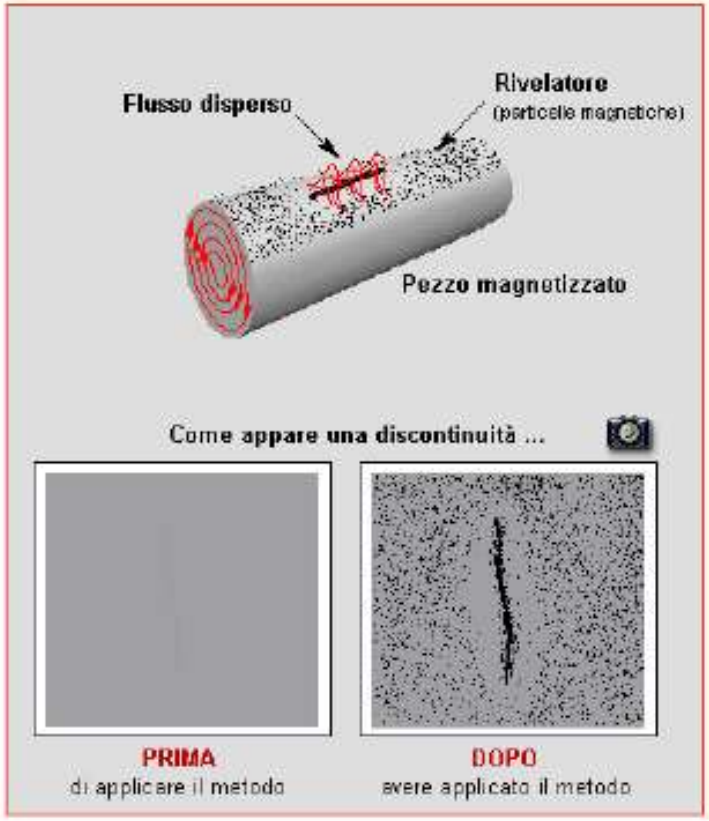
✓ In ogni caso la rivelazione delle discontinuità avviene fino ad angoli compresi tra 40 e 60° rispetto alle linee di induzione

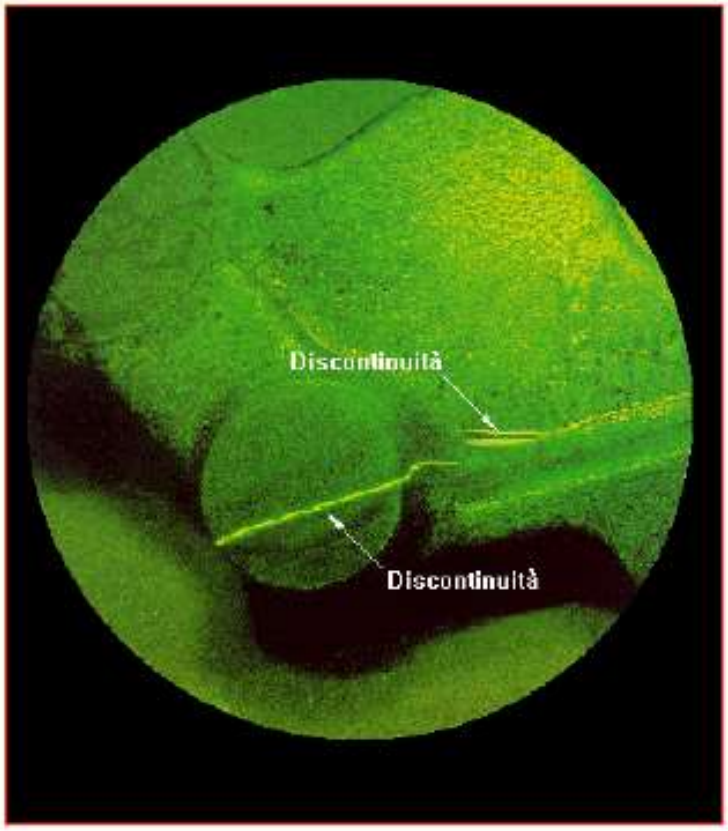
A - orientamento ottimale (la discontinuità è rivelabile)

B - orientamento poco favorevole (la discontinuità può ancora essere rivelabile)

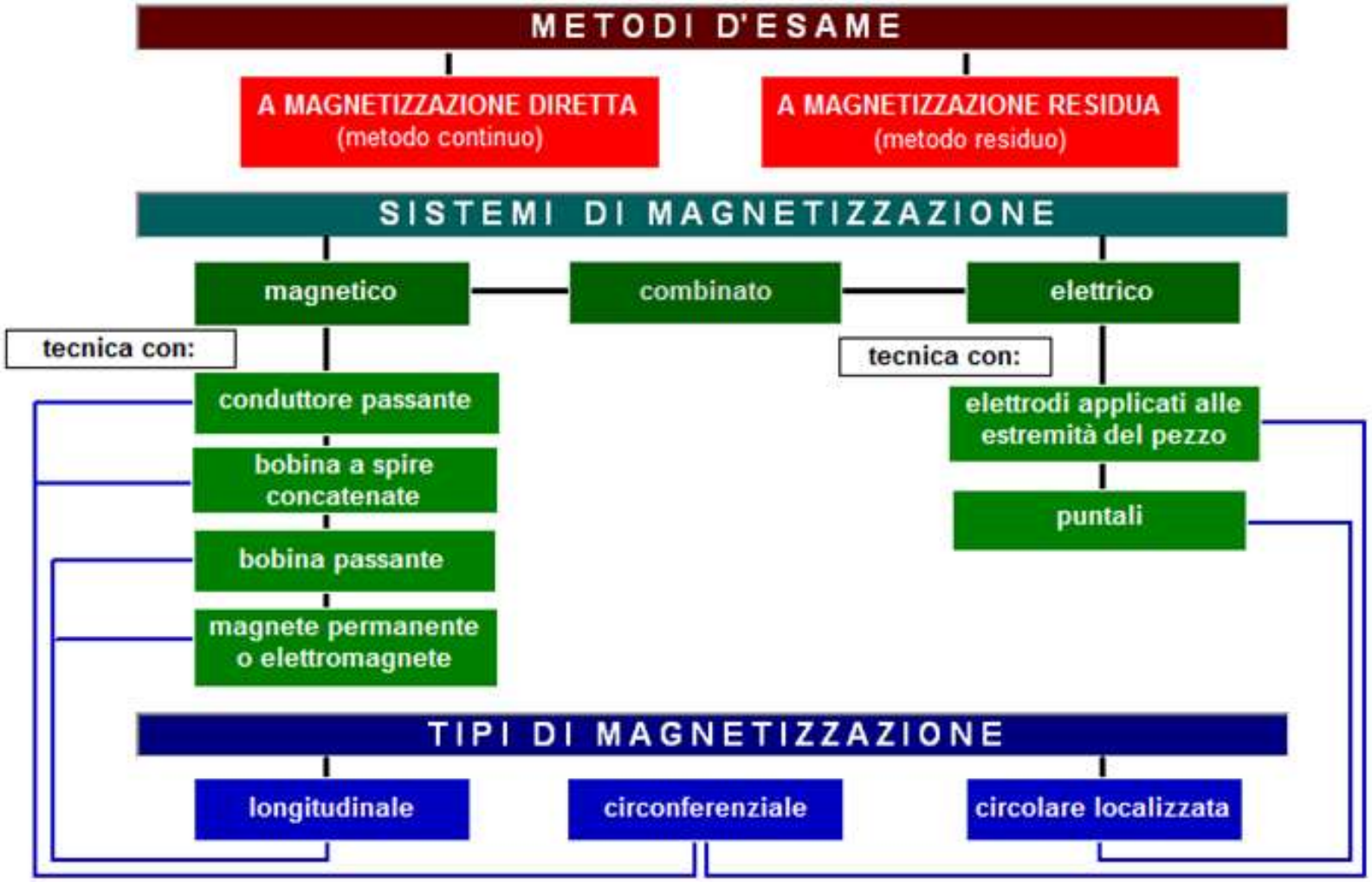
C - orientamento decisamente sfavorevole (la discontinuità non è rivelabile)

Principio di rivelazione delle discontinuità





Sistemi di magnetizzazione



Metodi dell'esame

La prova con particelle magnetiche può essere effettuata secondo due metodi in relazione al momento in cui viene applicato il rivelatore:

- metodo a magnetizzazione diretta (anche detto metodo continuo):

il rivelatore viene applicato contestualmente alla magnetizzazione del pezzo

- metodo a magnetizzazione residua (anche detto metodo residuo):

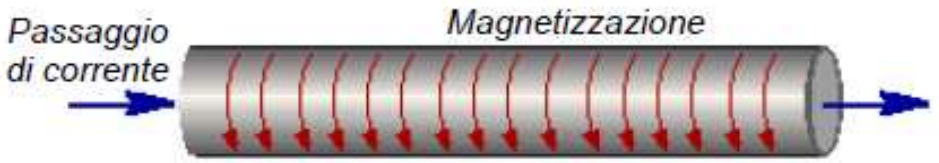
il rivelatore viene applicato dopo che è cessata l'operazione di magnetizzazione, sfruttando il magnetismo residuo del pezzo

Sistemi di magnetizzazione

I sistemi di magnetizzazione sono fondamentalmente due:

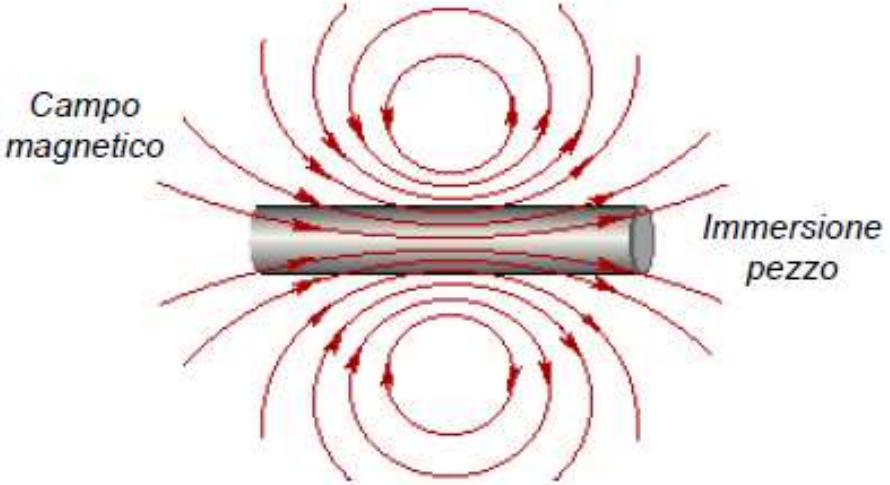
- il sistema elettrico

  produce la magnetizzazione del pezzo attraverso il passaggio di una corrente elettrica nel pezzo stesso;



- il sistema magnetico

  produce la magnetizzazione immergendo il pezzo in un campo magnetico.

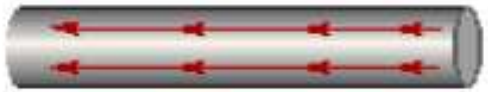


Tipi di magnetizzazione

I tipi fondamentali di magnetizzazione sono:

- Longitudinale

  Il pezzo è attraversato da linee di flusso entranti ed uscenti, che non si richiudono cioè all'interno del pezzo. La direzione delle linee è parallela alle superfici laterali del pezzo e in genere coincide con la dimensione maggiore di questo.



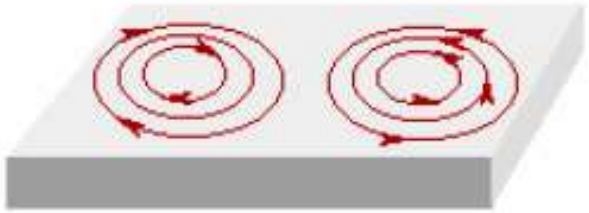
- Circonferenziale

  Le linee di flusso magnetico corrono e si richiudono lungo la periferia del pezzo. In genere hanno un andamento perpendicolare alla sezione trasversale.



- Circolare localizzata

  Le linee di flusso sono circolari e si richiudono sulla superficie del pezzo, interessando solo una porzione di questo.



UNI EN ISO 9934-1 Tecniche di magnetizzazione

La norma UNI EN ISO 9934-1 prevede le seguenti tecniche di magnetizzazione:

1. Flusso di corrente Assiale
2. Puntali del flusso di corrente
3. Flusso di corrente indotta
4. Conduttore centrale
5. Conduttore adiacente
6. Bobina rigida
7. Bobina formata da cavo Flessibile
8. Flusso magnetico (bancale)
9. Elettromagnete portatile (giogo permanente o elettromagnete)

Elettrodi alla estremità del pezzo (corrente assiale)

Il pezzo viene chiuso tra due elettrodi adduttori di corrente.

Si produce pertanto nel pezzo un passaggio di corrente che genera linee di forza circonferenziali dentro e fuori dal pezzo stesso.

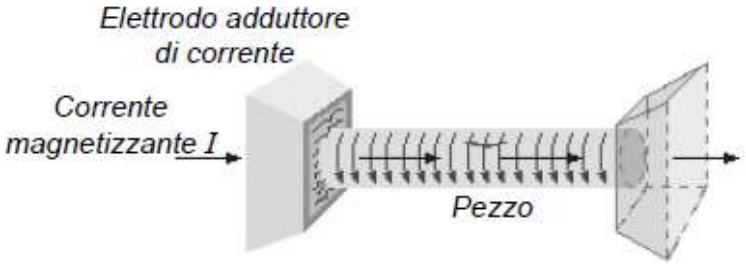
L'intensità della corrente magnetizzante **I**, è fornita da:

$$\mathbf{I = K \times d}$$

dove:

d è il diametro o diagonale massima della sezione trasversale

K (equivalente a πH) è un fattore empirico funzione del diametro



Magnetizzazione circonferenziale con passaggio diretto di corrente nel pezzo

Puntali – Flusso di corrente

I puntali, collegati ad un generatore di corrente, vengono applicati su due punti del manufatto in esame.

Il campo m. generato all'interno del pezzo è circolare localizzato attorno ai punti di contatto.

Per rilevare difetti comunque orientati è necessario magnetizzare con due esami successivi, incrociando l'orientamento dei puntali di 90° .

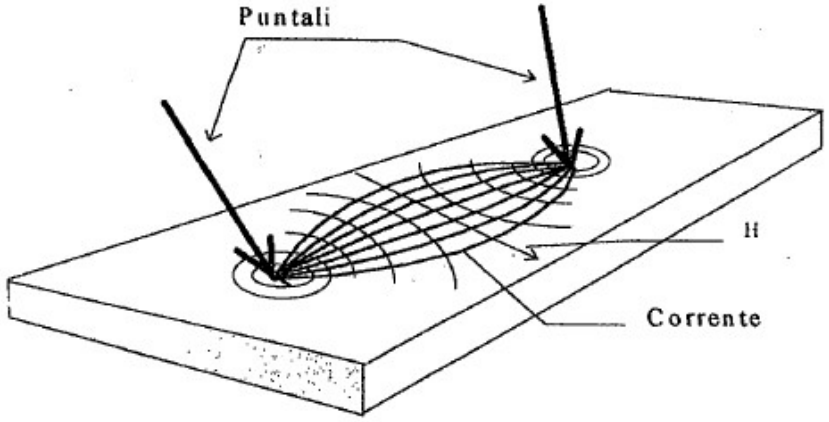


Fig.35 - Magnetizzazione circolare con puntali.

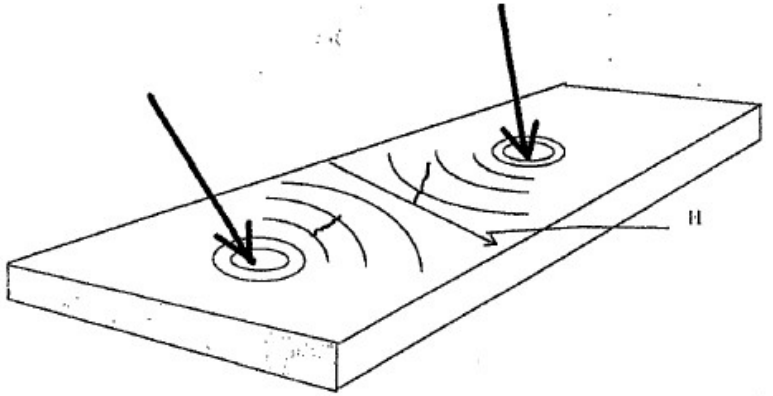


Fig.37 - Orientamento delle discontinuità rilevabili con la magnetizzazione mediante puntali.

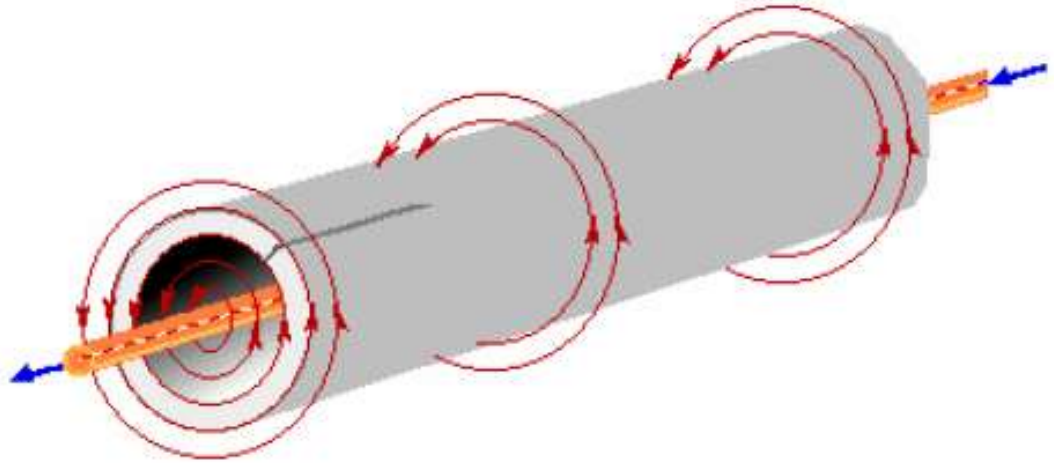
Magnetizzazione circonferenziale indiretta con conduttore centrale

Questa tecnica è applicabile solo ai corpi cavi e sfrutta il campo magnetico prodotto da una corrente che passa in una barra conduttrice inserita all'interno della cavità del pezzo da esaminare.

Le linee di forza generate sono circonferenziali chiuse.

L'intensità di magnetizzazione è massima alla superficie interna e minima a quella esterna, in base alla relazione che qui si riporta per il diametro interno ed esterno:

$H_{Ri} = I/2\pi R_i$; $H_{Re} = I/2\pi R_e$



Magnetizzazione per induzione con magnete o elettromagnete (m. longitudinale)

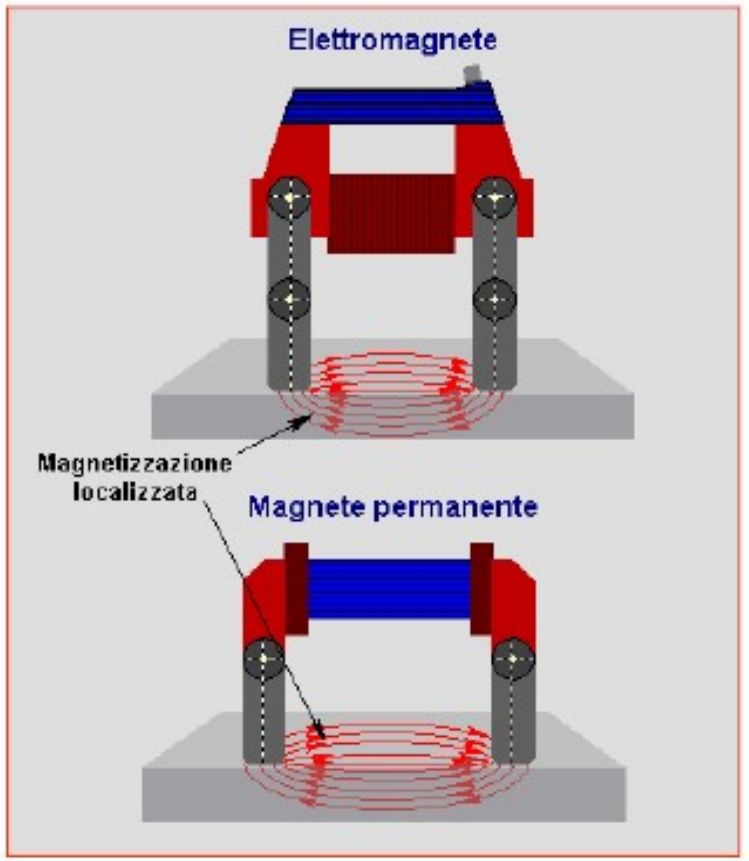
Campo m. prodotto tra due espansioni polari. E' una magnetizzazione per induzione dove le linee di forza sono longitudinali tra le due espansioni polari.

Inoltre i bracci sono snodati per consentire un migliore adattamento delle teste polari alle forme del pezzo.

Verifica della magnetizzazione:

- per gioghi DC o gioghi permanenti è richiesto il sollevamento di un peso di 18,0 Kg

- per gioghi AC è richiesto il sollevamento di una piastra di 4,5 Kg



Bobina passante (spire avvolgenti)

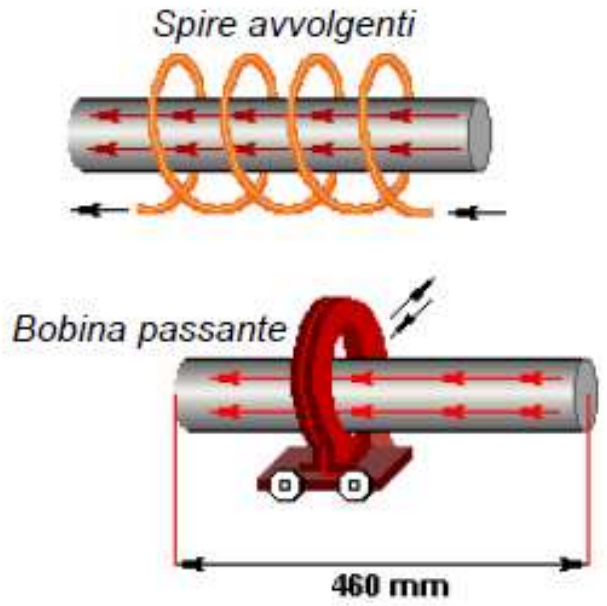
Questa tecnica produce una magnetizzazione longitudinale con linee di induzione entranti ed uscenti dalle superfici opposte del pezzo. L'esame va eseguito a tratti.

Secondo la norma ASME V il tratto da esaminare non deve eccedere i 460 mm di lunghezza.

Inoltre la tecnica è applicabile

Solo per rapporti

lunghezza/diametro maggiori di 2.



Bancale (magnetizzazione longitudinale)

La magnetizzazione longitudinale è ottenuta mediante un elettromagnete di grandi dimensioni **dove il nucleo magnetico ha sezione maggiore di quella del un pezzo da magnetizzare**. Le bobine di eccitazione sono poste sulle due colonne e due testate polari scorrevoli consentono di adattare la loro distanza, così da chiudersi sulle estremità del pezzo.

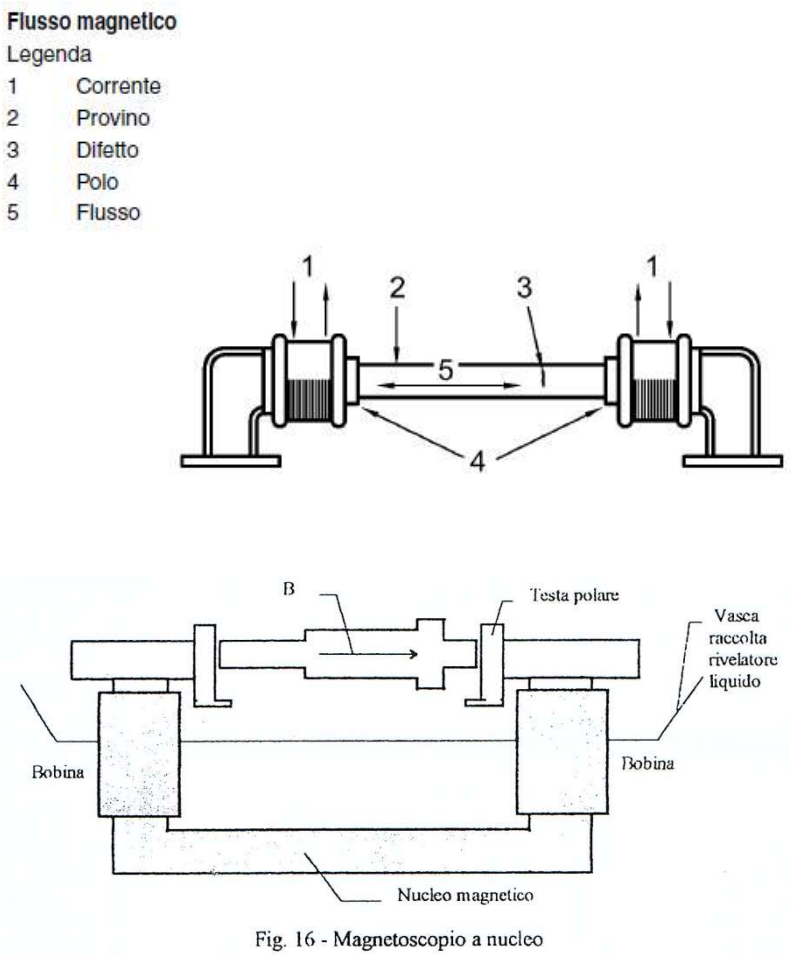


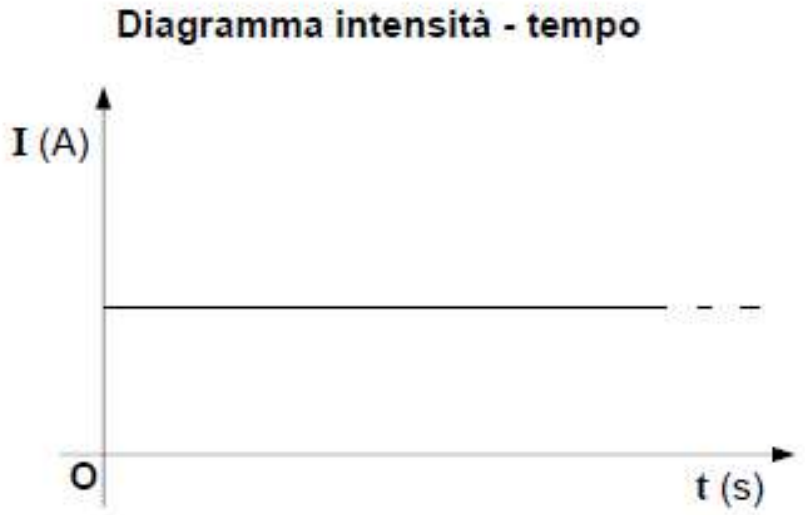
Fig. 16 - Magnetoscopio a nucleo

Tipi di corrente

Caratteristiche della corrente utilizzata in ambito magnetoscopico.

- ►corrente continua
- ►corrente alternata
- ►corrente raddrizzata a semionda
- ►corrente raddrizzata a doppia semionda

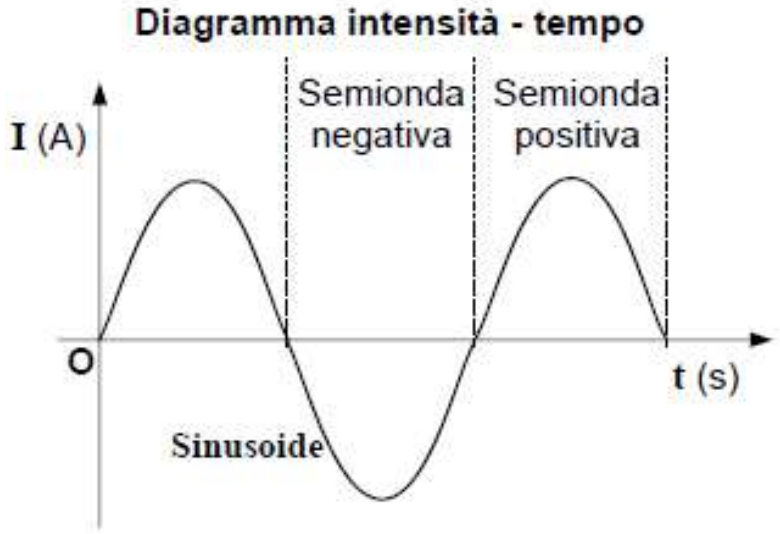
Corrente continua



Corrente alternata

I circuiti in corrente alternata hanno la particolarità di presentare sempre valori diversi di corrente nel tempo. In verità l'andamento variabile della corrente è limitato ad un periodo di tempo t, dopodiché la corrente assume di nuovo i valori già assunti in precedenza. Queste variazioni si ripetono nel tempo in modo continuo, da qui il nome di corrente alternata.

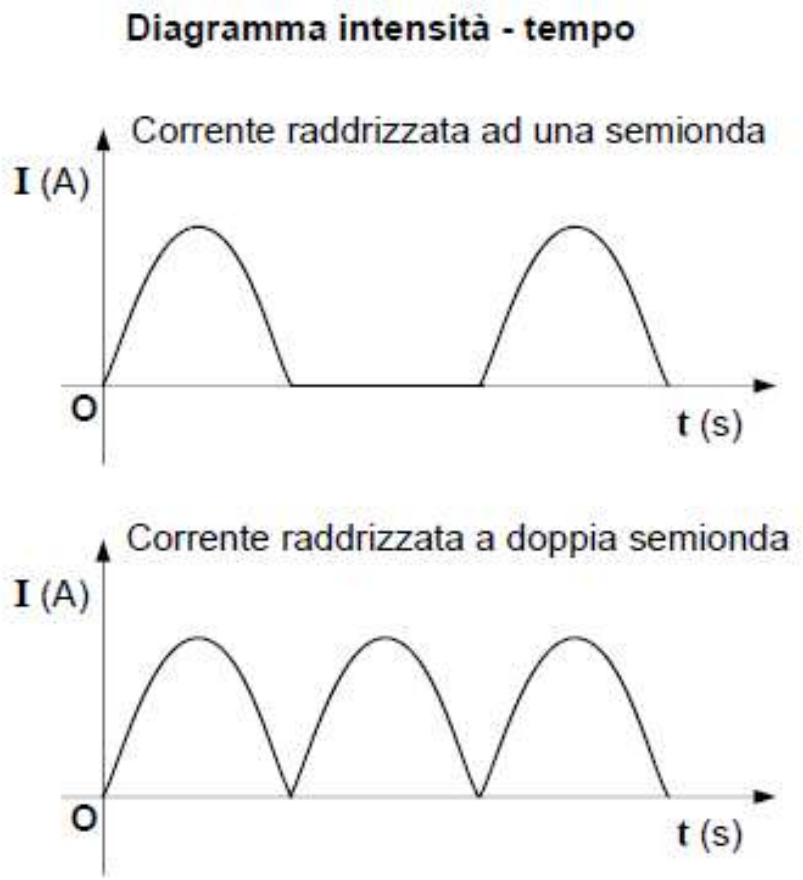
L'andamento di figura è detto sinusoidale, ma in realtà si possono avere forme d'onda molto diverse.



Corrente raddrizzata

Questa corrente si ottiene attraverso l'impiego di opportuni circuiti, chiamati raddrizzatori, e consiste in una corrente alternata alla quale è stata annullata o invertita la semionda negativa.

La corrente raddrizzata somma i vantaggi della corrente continua e di quella alternata.



Profondità di penetrazione

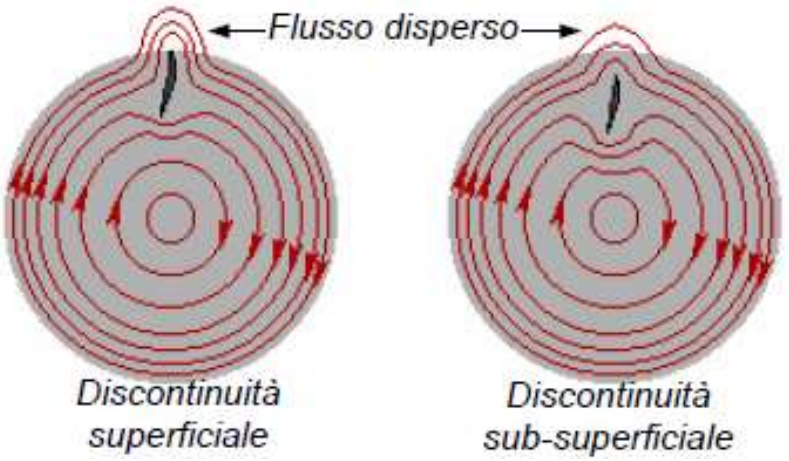
La corrente continua fluisce all'interno del materiale a senso unico. Nei controlli magnetoscopici viene raramente impiegata perché **tende a rallentare il libero scorrimento della polvere magnetica** sulla superficie dei pezzi in esame, con la conseguenza che è resa più lenta e difficile la formazione delle indicazioni.

Per questo nei controlli m. **è preferibile utilizzare la corrente alternata** poiché , passando per lo zero 100 volte al secondo (50 Hz), annulla altrettante volte l'azione **di rallentamento dello scorrimento delle particelle** m. e quindi permette al vettore liquido di far **scorrere meglio le particelle m.** verso le discontinuità da rilevare.

Profondità di penetrazione

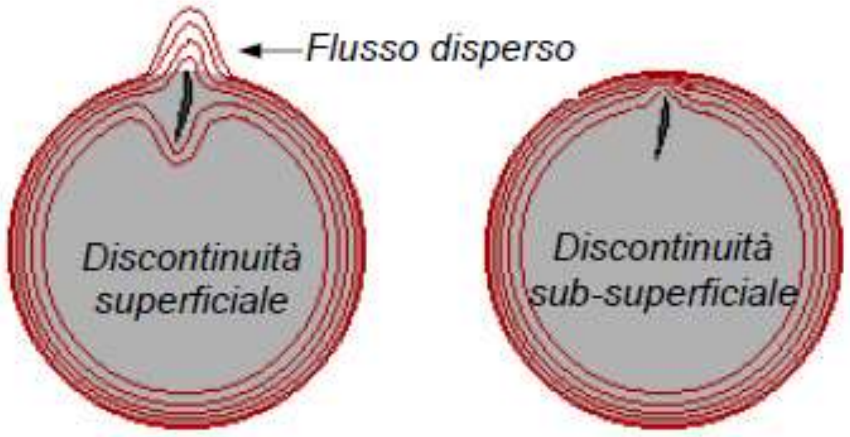
Vi è però un altro fenomeno da considerare: la profondità di penetrazione.

La **corrente continua** si distribuisce uniformemente nella sezione del pezzo, producendo una magnetizzazione in profondità, rendendo quindi possibile la rivelazione di discontinuità sub-superficiali.



Profondità di penetrazione

La corrente alternata, a causa delle correnti parassite che si generano nel pezzo magnetizzato, rimane distribuita in prossimità della superficie, rendendo quasi impossibile la rivelazione di difetti sub-superficiali.



Effetti dei rivestimenti

Rivestimenti anticorrosivi.

Sottili strati di rivestimenti anticorrosivi, come normalmente si ha nel caso di *sottofondi, vernici, ossidi passivanti, fosfati, ecc* (non ferromagnetico), **in genere non impediscono la formazione delle indicazioni**, appunto perché **il ridotto spessore non limita l'azione attrattiva del campo m. disperso**. Anche leggeri *strati di cromati di zinco e di rivestimenti plastici* **non disturbano eccessivamente** il controllo MT.

Rivestimenti galvanici.

I comuni rivestimenti galvanici, a causa del ridotto spessore, normalmente non danno limitazioni per l'esame MT, fatta **eccezione per i depositi di cromo e nichel.**

I depositi di **cromo** (non ferromagnetico), se di *grosso spessore*, possono **ridurre l'efficacia attrattiva sulla polvere magnetica** da parte del flusso m. disperso, quindi eventuali **discontinuità subsuperficiali** nel metallo base, **sono suscettibili di essere mascherate** dal soprastante strato di cromo.

Fasi del controllo magnetoscopico

L’esame magnetoscopico si compone delle seguenti fasi:

- preparazione della superficie
- verifica campi residui
- magnetizzazione e irrorazione (metodo continuo)
- osservazione
- smagnetizzazione

Preparazione della superficie

- In questa fase occorre verificare che la superficie del pezzo da testare sia **esente da grasso e polvere** e che alcune porzioni della superficie si prestino a fungere da terminali elettrici (nei casi in cui questo è richiesto)

- La presenza di contaminanti può ostacolare (o addirittura impedire) il movimento delle particelle magnetiche sotto l'azione del campo esterno, rendendo difficoltosa la visualizzazione dei difetti

- Olio e grasso attenuano l'attrazione delle particelle da parte del campo esterno e alterano il loro accumulo producendo false indicazioni



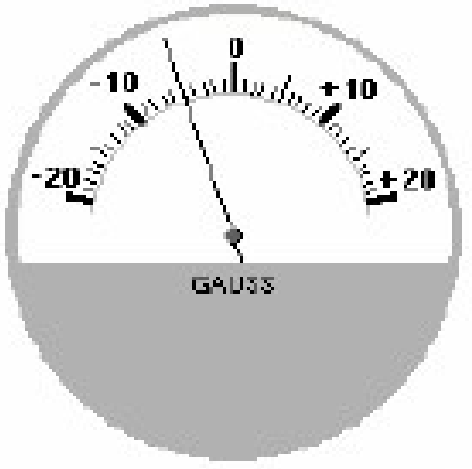
Verifica campi residui

Questa attività ha lo scopo di accertare la presenza di eventuali campi magnetici residui (di varia origine) sul pezzo da esaminare.

La verifica si effettua con il gaussmetro che è costituito da un indice che si orienta secondo la direzione del campo magnetico muovendosi lungo una scala graduata espressa in gauss.

La scala ha lo zero al centro e 20

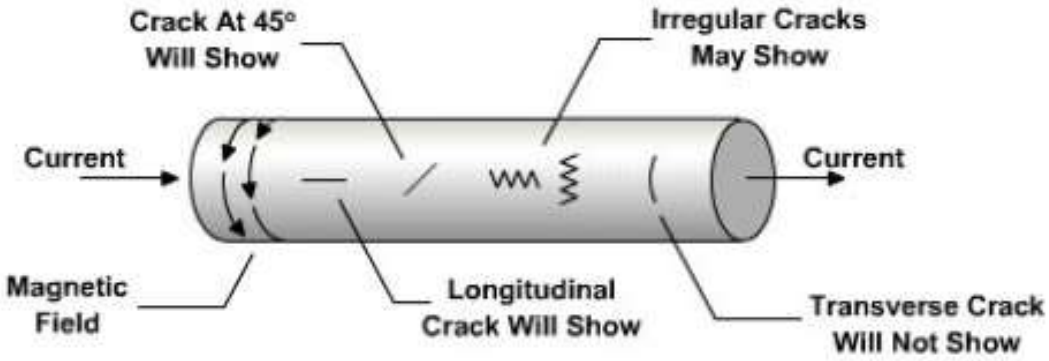
unità su ciascun lato.



Magnetizzazione della superficie



La direzione del campo è particolarmente critica. Solo i difetti che presentano un orientamento tra i 45 e i 90 gradi (condizione di massima visibilità) rispetto alla direzione delle linee di forza del campo potranno essere rivelati.



Applicazione della polvere magnetica

Caratteristiche delle polveri magnetiche:

- ✓ Comportamento magnetico
- ✓ Geometria delle particelle
- ✓ Visibilità degli agglomerati in corrispondenza di un difetto
- ✓ Distribuzione della dimensione delle particelle



Applicazione della polvere magnetica

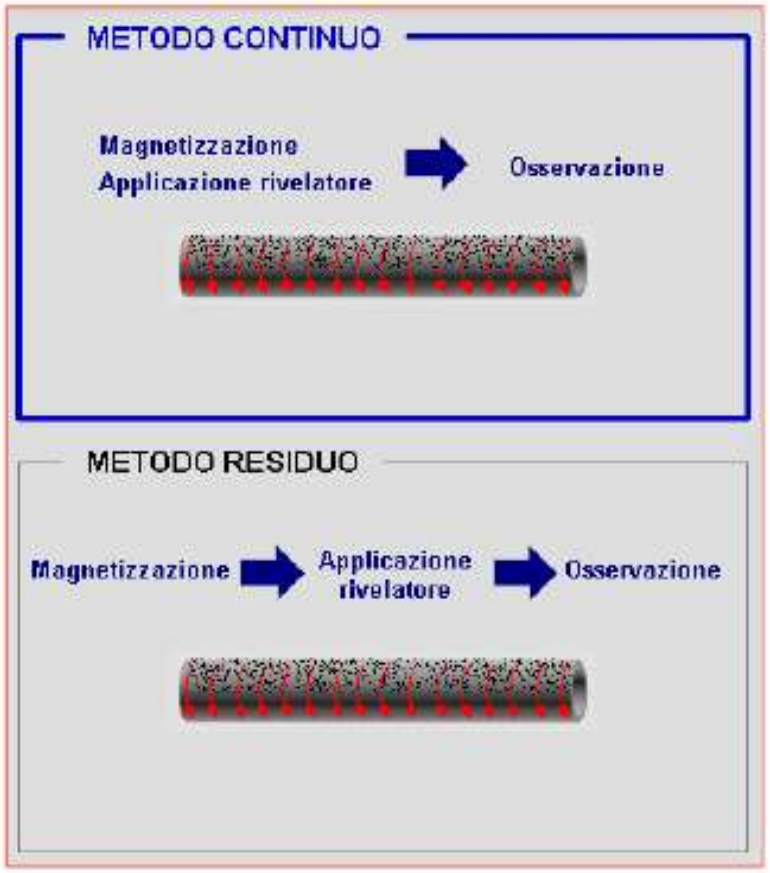
La prova con particelle magnetiche può essere eseguita secondo due modalità

Esame a magnetizzazione diretta

L'applicazione del rivelatore avviene assieme alla magnetizzazione del pezzo (o immediatamente prima). L'osservazione delle indicazione è simultanea all'applicazione del rivelatore

Esame a magnetizzazione residua

Il rivelatore viene applicato dopo che è cessata l'operazione di magnetizzazione, sfruttando il magnetismo residuo del pezzo



Le polveri magnetiche

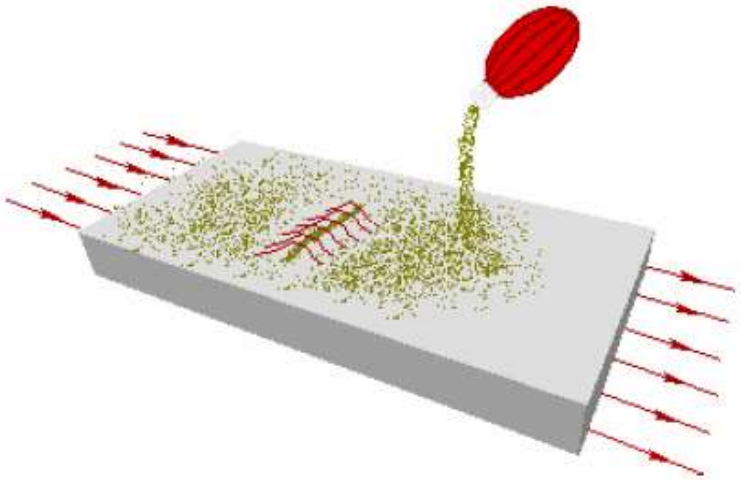
Metodo asciutto:

- Si tratta di particelle di ferro finemente suddivise rivestite con pigmenti

- La polvere viene applicata cospargendola o soffiandola sul componente da testare

- La granulometria è accuratamente selezionata perché, sebbene le particelle più fini siano maggiormente sensibili, non è possibile pensare di impiegare esclusivamente questa tipologia considerato che esse aderiscono ad ogni genere di discontinuità (ditate, tracce d'olio, rugosità) e dunque produrrebbero un sottofondo troppo "denso"

- Anche la forma ha la sua importanza: le particelle più "allungate" vengono facilmente attratte dai campi dispersi, ma tendono ad opacizzarsi e a raggrupparsi in grappoli



Le polveri magnetiche

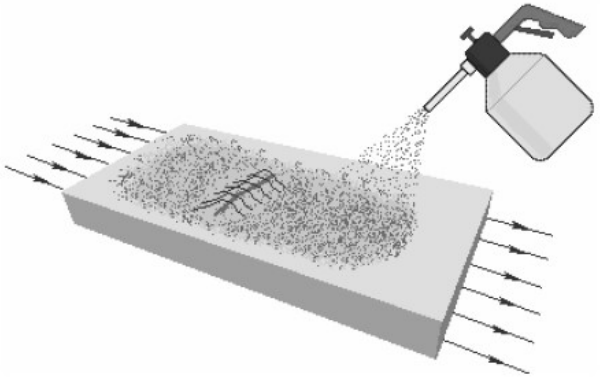
Metodo umido

• Le particelle sensibili sono miscelate con un liquido (acqua, olio leggero o kerosene) e poi spruzzate sulla superficie del componente.

•Il veicolo oleoso si preferisce quando è essenziale garantire assenza di effetti corrosivi, quando l'acqua potrebbe manifestare problemi elettrici e su leghe ad alta resistenza laddove gli atomi di idrogeno dell'acqua potrebbero diffondersi nella struttura cristallina generando infragilimento

• La granulometria è solitamente più fine rispetto al metodo asciutto (5-15 µm) e la forma è compatta

• In genere non vengono aggiunti pigmenti, quindi la mobilità è maggiore rispetto al metodo asciutto. Il metodo umido si impiega laddove si prediliga la sensibilità rispetto alla visibilità



Le polveri magnetiche

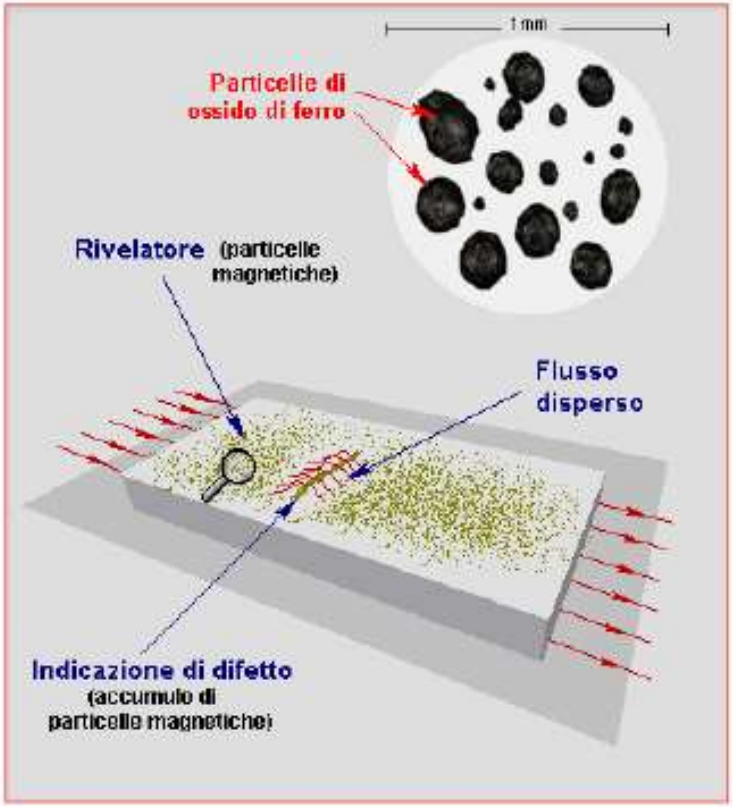
Polveri colorate:

La percettibilità delle indicazioni dipende dalla differenza tra il loro colore e quello del pezzo in esame, quindi si hanno polveri adeguate alla superficie del pezzo da esaminare (ocra per superfici brunite, nero per quelle rettificate, blu per quelle ossidate ecc.)

Polveri fluorescenti:

Sono costituite da particelle magnetiche molto fini rivestite da pigmenti fluorescenti.





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

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).

Osservazione

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.

Osservazione

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.

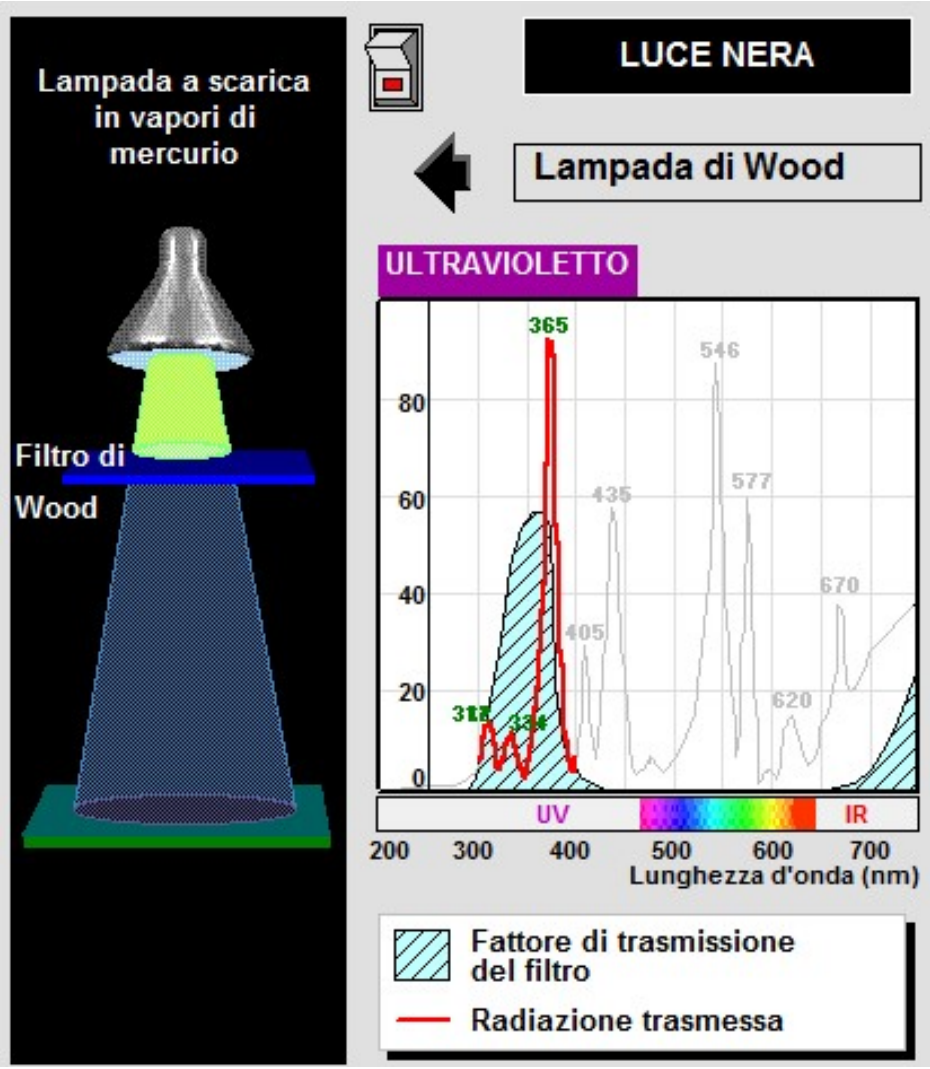
La **luce nera** si ottiene filtrando la radiazione emessa da una lampada a scarica in vapori di mercurio.

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

Osservazione

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

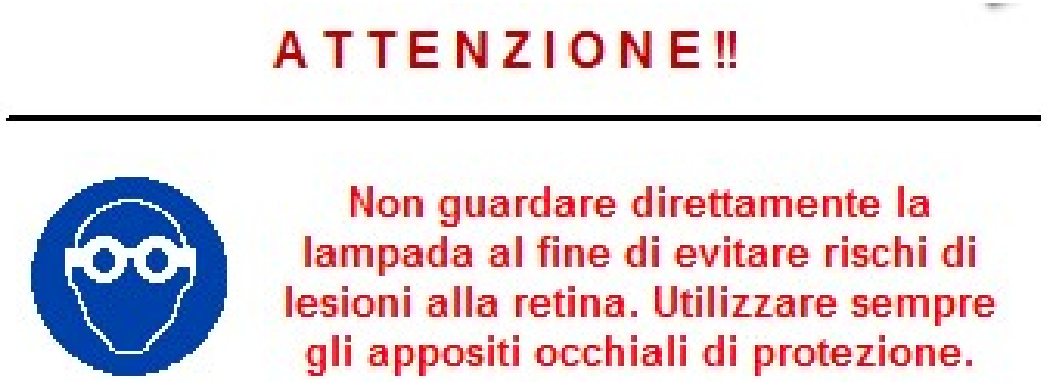
Questo filtro è detto filtro di Wood ed una lampada con le caratteristiche illustrate è detta **lampada di Wood**.



Osservazione

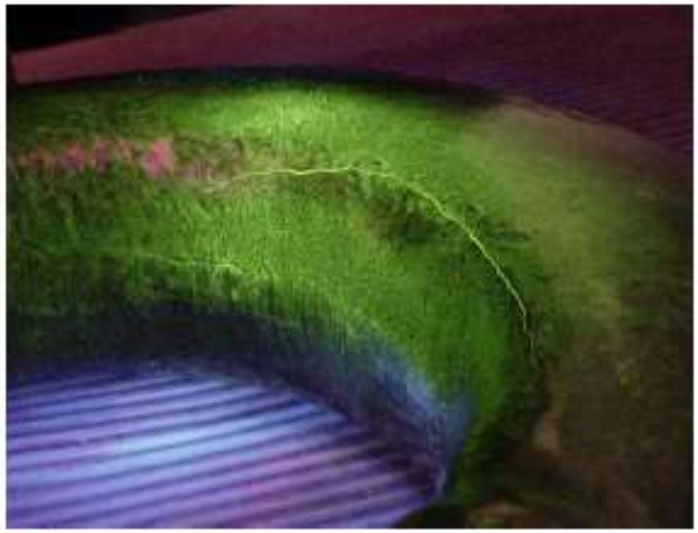
L’ASME V prescrive di verificare l’intensità delle lampade a luce nera ogni 8 ore di funzionamento con uno strumento centrato a 365 nm.

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.

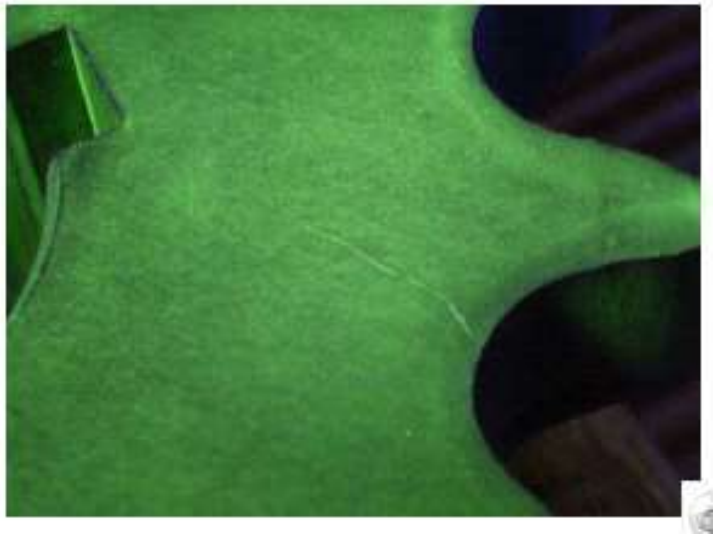


Osservazione









Osservazione



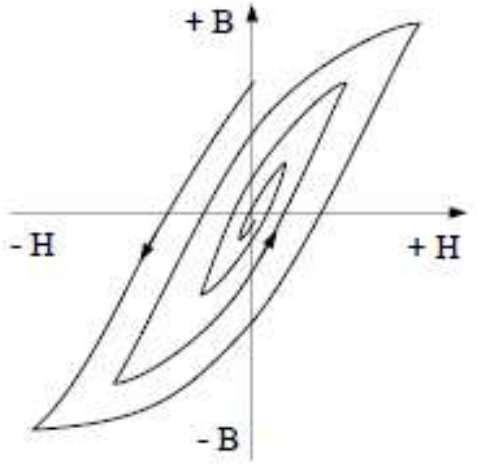






Smagnetizzazione

Tipicamente la smagnetizzazione di un pezzo si ottiene eseguendo una serie di cicli di isteresi e riducendo progressivamente il campo magnetico applicato.



Diminuzione delle curve di isteresi derivanti dalla smagnetizzazione di un pezzo

Possibili ragioni per cui è necessaria la smagnetizzazione

- Interferenza con altri processi tecnologici (saldatura, lavorazioni meccaniche..)
- Interferenza con strumenti di misura posizionati in prossimità del componente
- Particelle metalliche abrasive possono restare attratte dal componente ed essere causa (o fattore di accelerazione) di fenomeni di danneggiamento superficiale

Valutazione dei risultati

Non tutte le segnalazioni che si osservano durante l'esame con le particelle magnetiche corrispondono a delle discontinuità reali. Prima di emettere un giudizio bisogna attentamente valutare l'indicazione.

SEGNALI NON INDICATIVI

Alcuni segnali possono essere originati in corrispondenza di discontinuità geometriche note, caratteristiche del pezzo esaminato.

FALSI SEGNALI

Alcuni segnali possono aversi in seguito a condizioni esecutive non corrette.

SEGNALI INDICATIVI

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

Valutazione dei risultati

I segnali indicativi sono suddivisi dalla norma ISO 23278 in:

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

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

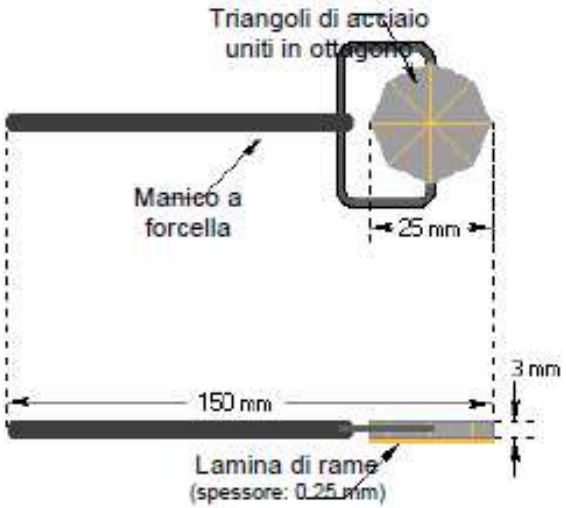
Strumenti di verifica del campo magnetizzante

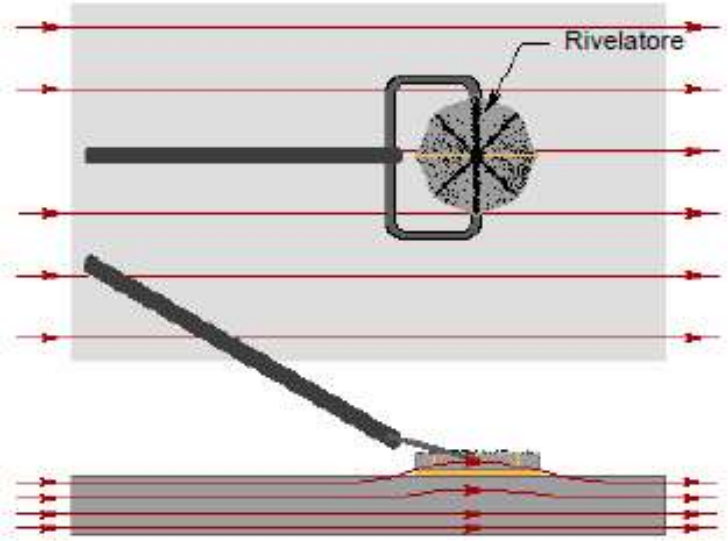
La sonda tipo **ASME V è costituita** da otto triangoli di acciaio, brasati insieme in modo da formare un esagono, e ricoperti su un lato da una lamina di rame di spessore 0,25 mm.

Modalità d'impiego: la sonda si impiega ponendola a contatto con il pezzo da esaminare in modo che la superficie brasata sia rivolta verso l'alto.

Magnetizzando il pezzo ed applicando le particelle alla sonda si vedono formare i segnali in corrispondenza di alcuni lati dei triangoli.

La comparsa più o meno nitida di queste indicazioni conferma la raggiunta sensibilità e la direzione del campo magnetizzante.

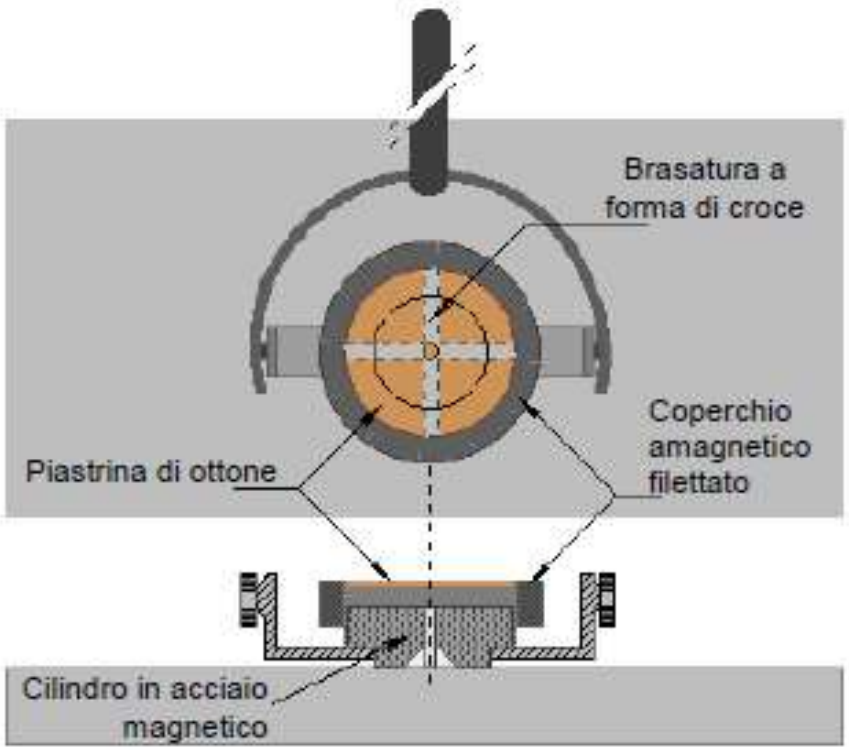




Strumenti di verifica del campo magnetizzante

La sonda di **Berthold è costituita** da una piastrina di ottone fissata su un coperchio amagnetico filettato su una base costituita da quattro pezzi di acciaio brasati a croce.

La peculiarità di questa sonda è che **avvitando e svitando il coperchio** si simulano **differenti valori di profondità dell'indicazione** e si ha un indice della sensibilità con quel valore di corrente.



Strumenti di verifica del campo magnetizzante

I **blocchi campione**, realizzati in materiale ferromagnetico, presentano una serie di difetti creati artificialmente.

Magnetizzati e cosparsi di polveri forniscono una indicazione qualitativa dell'efficacia del campo e della tecnica impiegata.

Il blocco rappresentato permette di vedere, indicativamente, la profondità di rilevazione di difetti trasversali, longitudinali e inclinati.

