# Metodo Ultrasuoni UT

Move Forward with Confidence

# Generalità

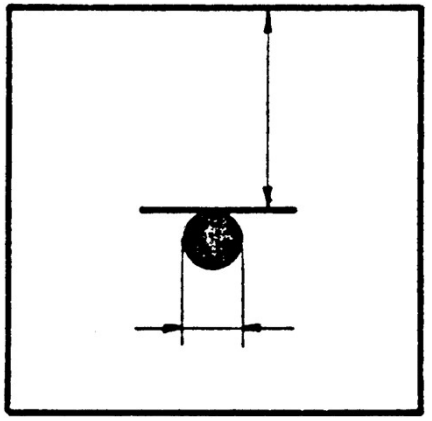
L’esame con ultrasuoni è un metodo di indagine non distruttivo, in grado di rilevare la presenza di discontinuità che si trovano all’interno dei pezzi esaminati.

Viene definita con il termine di “discontinuità”, una zona del pezzo esaminato dove manca il materiale. Al posto di quest’ultimo vi può essere un gas, dell’ossido, un materiale solido estraneo (come ad esempio scoria) oppure anche il vuoto.

L’esame ultrasonoro non si limita a segnalare solamente l’eventuale presenza di una discontinuità, ma fornisce anche le seguenti informazioni:

- posizione della discontinuità

- dimensioni della discontinuità



# Generalità – Sistema di controllo

L’esame ultrasonoro viene realizzato mediante un sistema di controllo, il quale è composto da:

la sonda: è il dispositivo in grado di generare e trasmettere nel materiale da esaminare un fascio di onde ultrasonore

l’unità di regolazione: che è l’apparecchiatura in grado di rappresentare su uno schermo il risultato dell’indagine, permettendo l’interpretazione di quest’ultimo

il cavo coassiale: l’elemento di collegamento tra

la sonda e l’unità di segnalazione



# Generalità – Gli ultrasuoni

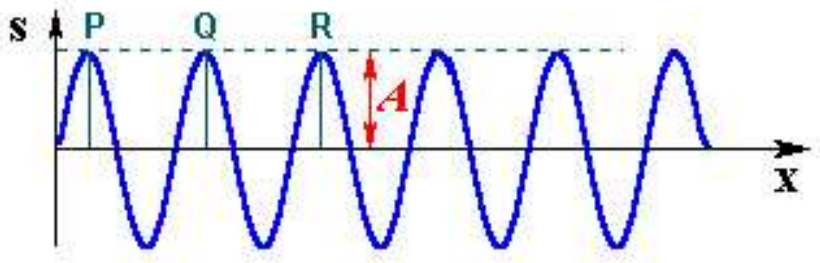
Gli ultrasuoni sono delle vibrazioni (onde) meccaniche, aventi una frequenza superiore a quella udibile dall'orecchio umano.

Il campo degli ultrasuoni ha inizio alla frequenza di 16.000 Hz.; nel campo dei controlli, vengono impiegate frequenze che vanno da 0,5 Mhz fino a 10 Mhz.

Le onde meccaniche, per loro natura, hanno bisogno di un mezzo per propagarsi.

# Grandezze fisiche di un’onda

## Ampiezza

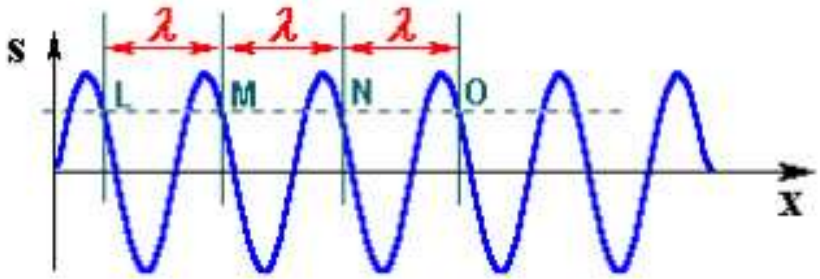



Nei punti P, Q, R, ... dell'onda lo spostamento dalla posizione di equilibrio è massima.

**La misura dello spostamento massimo si chiama ampiezza $A$ dell'onda.**

**Unità di misura :** mm (millimetro)

## Lunghezza d’onda



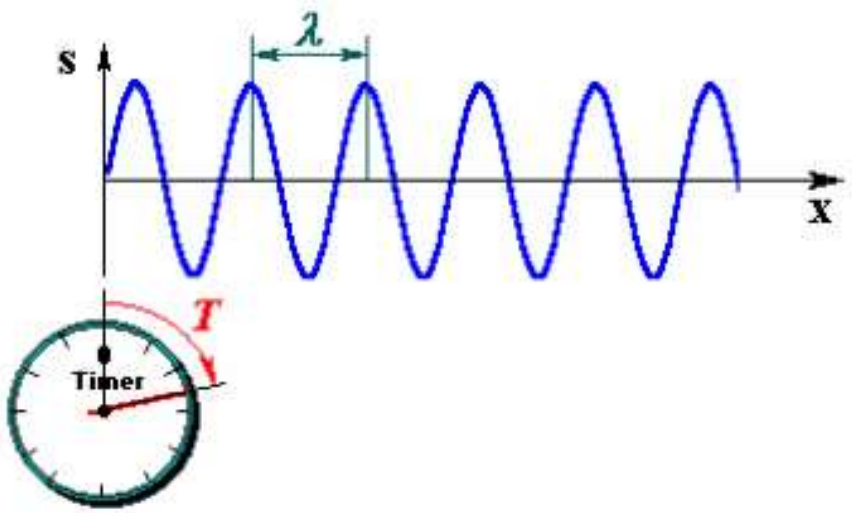

I punti L, M, N, O, ... dell'onda corrispondono a punti della corda che, ad un istante fissato, si trovano nel medesimo stato di oscillazione (stesso spostamento e direzione di moto); questi punti si dicono *in concordanza di fase*.

**La lunghezza d'onda $\lambda$ è la distanza tra due punti consecutivi dell'onda che si trovano in concordanza di fase.**

**Unità di misura :** mm (millimetro).

# Grandezze fisiche di un’onda

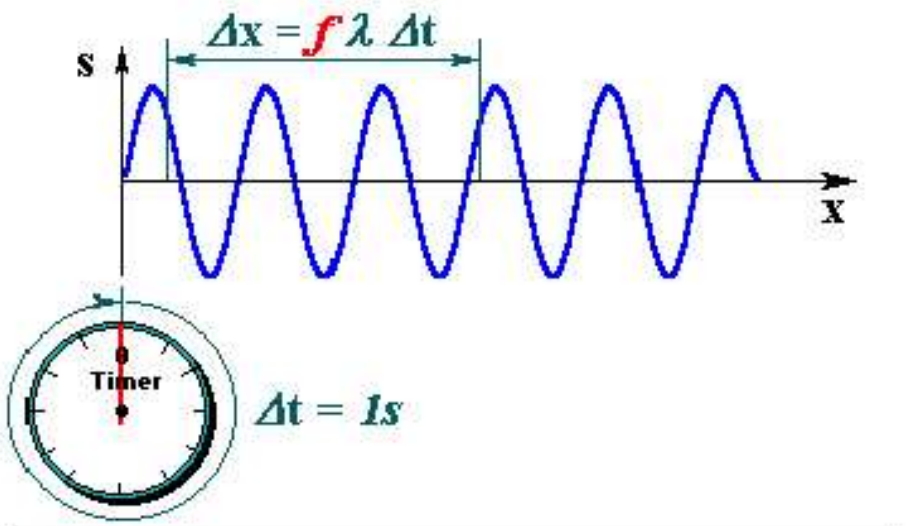
## Periodo




**Il periodo $T$ è il tempo necessario all'onda per percorrere la distanza di una lunghezza d'onda.**

**Unità di misura :** s (secondo)

## Frequenza




**La frequenza $f$ di un'onda è definita in termini di periodo, come :**

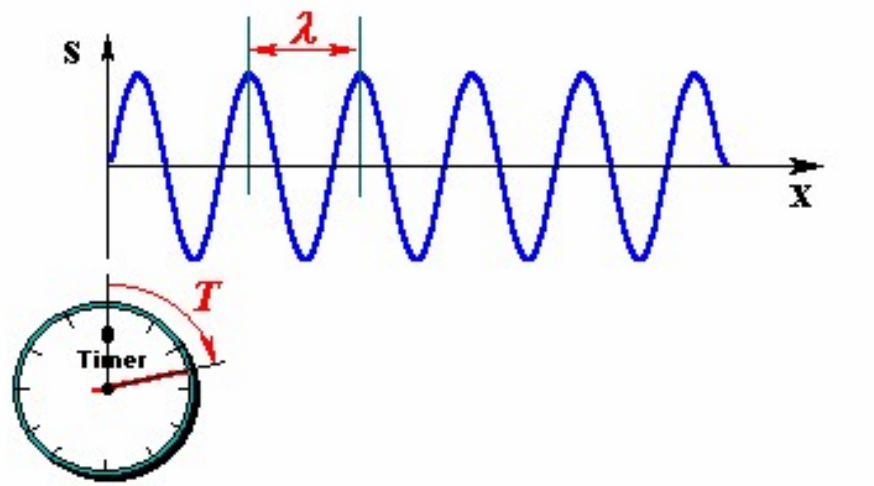
$$f = \frac{1}{T}$$

La frequenza rappresenta la distanza, misurata in unità di lunghezze d'onda, che l'onda percorre nell'unità di tempo ($\Delta t = 1\,s$).

**Unità di misura :** Hz (Hertz).

# Grandezze fisiche di un’onda

## Velocità di propagazione




**La velocità di propagazione $V$ di un'onda è la distanza percorsa dall'onda nell'unità di tempo.**

In un mezzo omogeneo (con le stesse proprietà elastiche in tutti i punti) il moto dell'onda è uniforme. Osservando che, nel tempo di un periodo $T$, l'onda percorre uno spazio uguale alla lunghezza d'onda $\lambda$, la velocità ( spazio / tempo ) è data da :

$$V = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

**Unità di misura :** **m / s** ( metri al secondo )

# Tipi di onde ultrasonore

Gli ultrasuoni sono vibrazioni meccaniche che si trasmettono nel materiale sottoforma di onde.

L'onda ultrasonora è essenzialmente energia vibrante che viene ceduta ad un certo numero di particelle di un mezzo, le quali sono poste quindi in vibrazione.

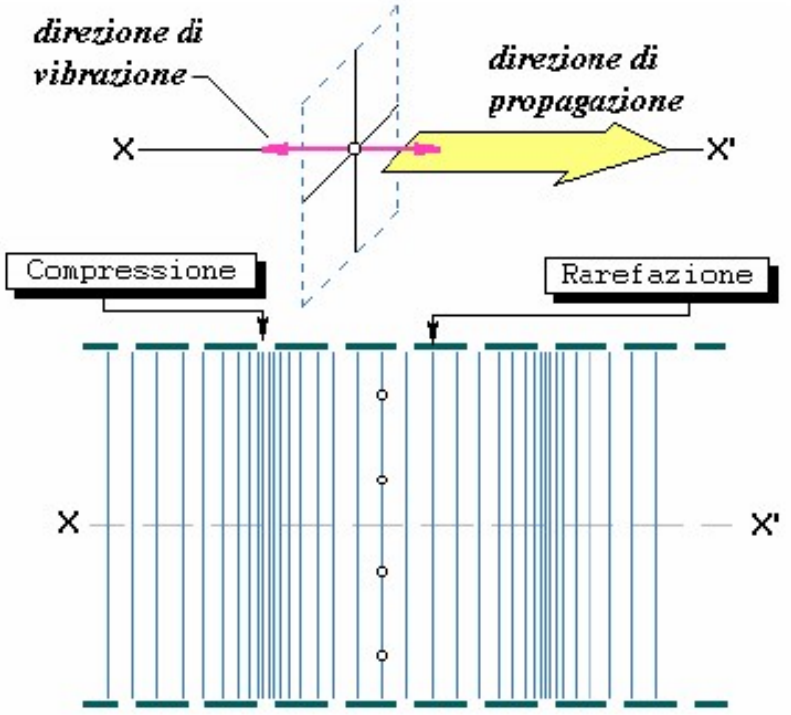
Queste a loro volta cedono l'energia assorbita alle particelle adiacenti e così via, dando luogo alla propagazione dell'onda ultrasonora.

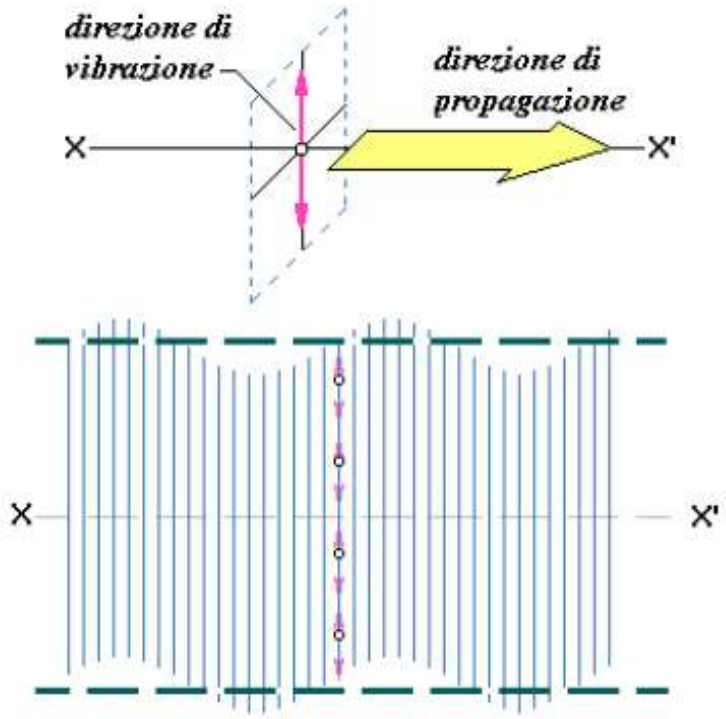
Abbiamo quindi due grandezze: la direzione di propagazione e la direzione di vibrazione le quali, essendo indipendenti tra di loro, a seconda di come si presentano ci permettono di identificare diversi tipi di onde ultrasonore.

# Onde longitudinali e trasversali

Le onde longitudinali producono una vibrazione delle particelle del materiale nella stessa direzione di propagazione delle onde. Sono in grado di propagarsi in tutti i materiali (solidi, liquidi o gas).

Le onde trasversali producono una vibrazione delle particelle del materiale in direzione perpendicolare rispetto alla propagazione delle onde. Si propagano solo nei solidi.



# Velocità di propagazione delle onde

Per ogni materiale esiste una velocità di propagazione ben definita per ogni tipo di onda.

In generale, in uno stesso mezzo la velocità delle onde longitudinali è superiore a quella delle onde trasversali.

| ACCIAI Composizione | Trattamento termico | VELOCITA' DI PROPAGAZIONE $10^3$ m/sec | |
|---|---|---|---|
| | | $V_L$ | $V_T$ |
| Acciaio non legato da cementazione EN C 15 | Ricottura | 5,94 | 3,24 |
| Acciaio non legato da costruzione EN C 40 | Ricottura | 5,94 | 3,25 |
| Acciaio per utensili EN C 98 | Ricottura | 5,96 | 3,23 |
| Acciaio legato da costruzione EN 35 Cr Mo 4 | Ricottura<br>Tempra<br>Rinvenimento | 5,95<br>5,93<br>5,90 | 3,26<br>3,24<br>3,23 |
| Acciaio per cuscinetti EN 100 Cr 6 | Ricottura<br>Tempra | 5,99<br>5,89 | 3,27<br>3,20 |
| Acciaio rapido W N° 3333 | Ricottura<br>Tempra | 6,06<br>5,88 | 3,35<br>3,19 |
| Acciaio legato per utensile EN W210 Cr 13 KV | Ricottura<br>Tempra | 6,14<br>6,01 | 3,31<br>3,22 |

| METALLI | VELOCITA' DI ROPAGAZIONE $10^3$ m/sec | |
|---|---|---|
| | $V_L$ | $V_T$ |
| Alluminio | 6,32 | 3,13 |
| Alpacca | 4,36 | 2,16 |
| Argento | 3,60 | 1,59 |
| Bismuto | 2,18 | 1,10 |
| Bronzo | 3,53 | 2,23 |
| Cadmio | 2,78 | 1,50 |
| Costantana | 5,24 | 2,64 |
| Ferro (acciaio) | 5,90 | 3,23 |
| Ghisa | 3,5 - 5,8 | 2,2 - 3,2 |
| Inconel | 7,82 | 3,02 |
| Magnesio | 5,77 | 3,05 |
| Manganina | 4,66 | 2,35 |
| Mercurio | 1,45 | - |
| Metallo duro | 6,8 - 7,3 | 4,0 - 4,7 |
| Molibdeno | 6,29 | 3,35 |
| Monel | 6,02 | 2,72 |
| Nichel | 5,63 | 2,96 |
| Oro | 3,24 | 1,20 |

# Frequenza – Lunghezza d'onda

Il campo di frequenze comunemente impiegate negli esami con ultrasuoni si estende da 0,5 MHz a 10 MHz.

| Frequenze comunemente impiegate nei controlli con ultrasuoni | |
|---|---|
| **Campo di frequenza** | **Applicazioni** |
| **0,025 - 0,1 MHz** | Cemento, legno, roccia e simili |
| **0,2 - 1 MHz** | Ghisa grigia, materiali con struttura |
| **0,4 - 5 MHz** | Acciaio, alluminio, ottone |
| **0,2 - 2,5 MHz** | Materiali plastici e simili |
| **1 - 2,25 MHz** | Saldature ferrose e non ferrose |
| **1 – 5 MHz** | Laminati: lamiere, barre, billette |
| **1 – 10 MHz** | Forgiati ferrosi e non ferrosi |
| **2,5 – 10 MHz** | Vetro e ceramica |

Tra la lunghezza d'onda **λ**, la frequenza **f** e la velocità di propagazione **V** di un'onda ultrasonora sussiste la relazione:

$$\lambda = V / f$$

# Impedenza acustica – Pressione acustica

L'impedenza acustica Z di un material è una misura della resistenza che il material oppone alla propagazione delle onde ultrasonore. Essa è data dal prodotto della densità per la velocità di propagazione.

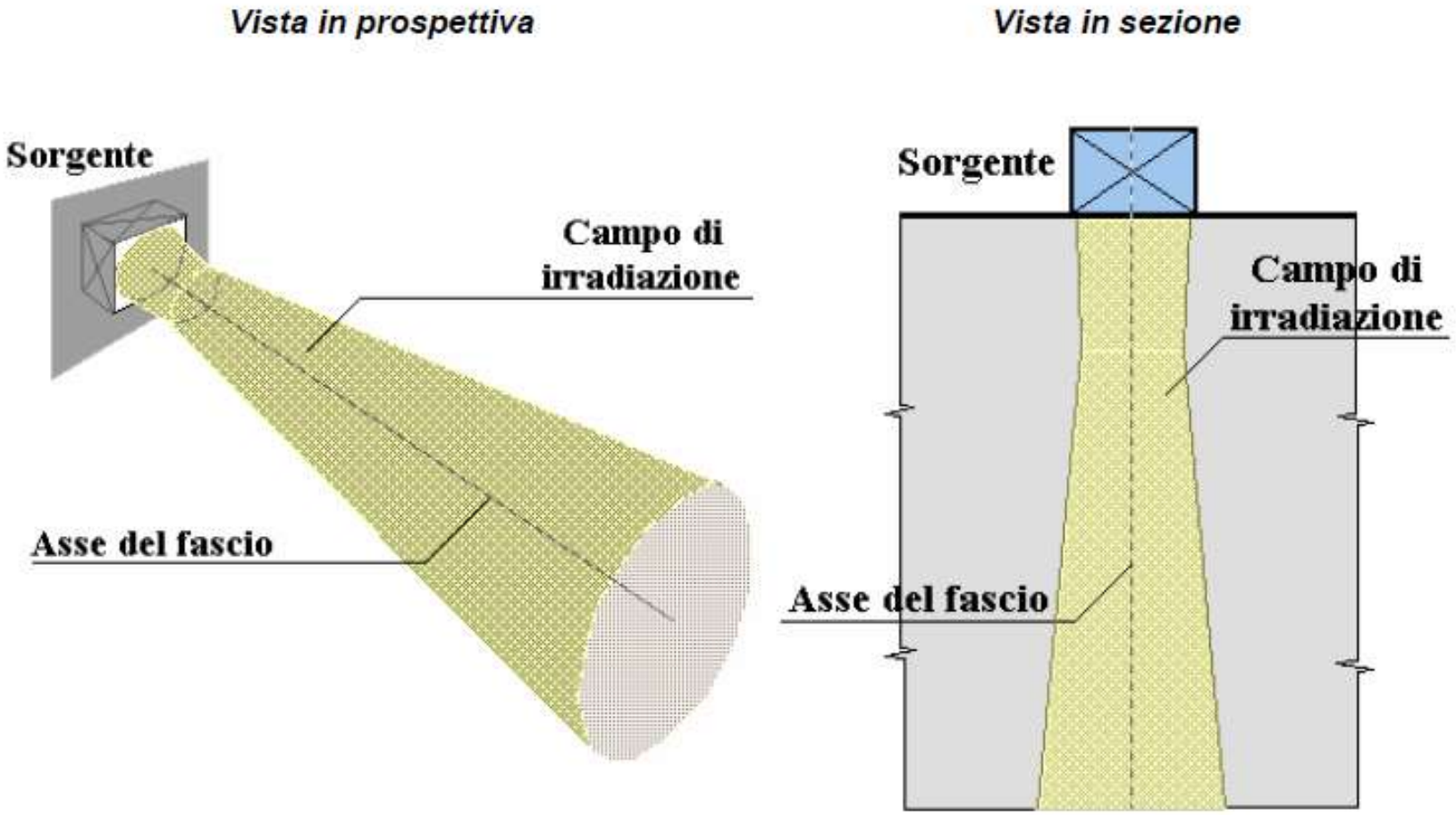
$Z = \rho \cdot V \quad (kg/m2)$

La pressione acustica P è la forza che l'onda ultrasonora esercita su di una superficie di area unitaria disposta perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda. La pressione acustica è la grandezza direttamente rilevabile con gli strumenti in uso nei controlli con ultrasuoni (dal valore della pressione si ricava l'intensità degli ultrasuoni).

$P = F/S \quad (N/m^2)$

# Geometria del fascio ultrasonoro

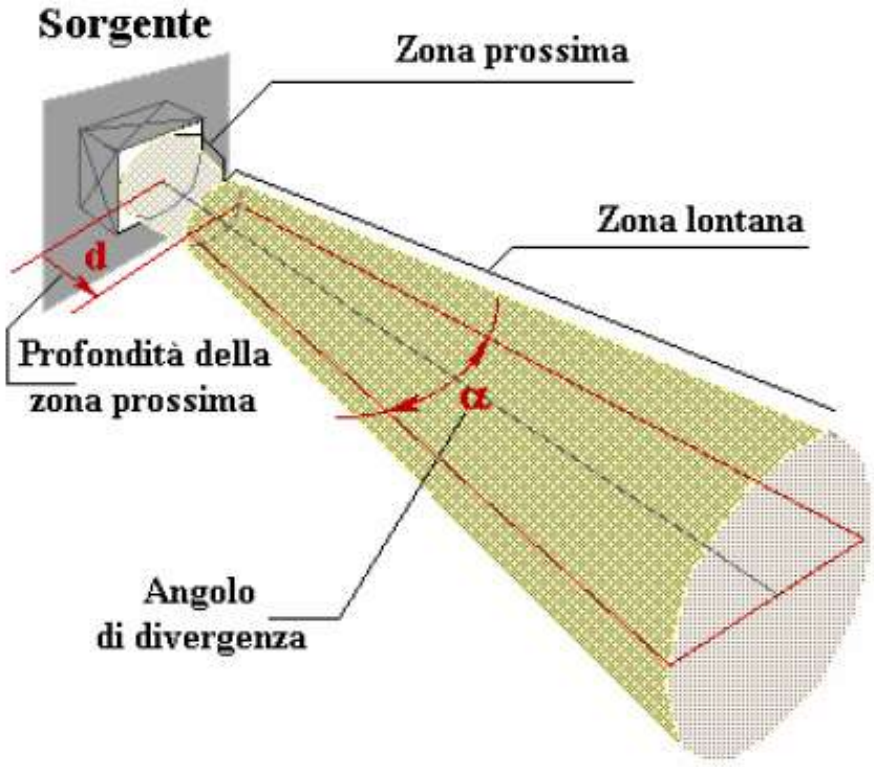
La regione dello spazio interessata alla propagazione del fascio è detta campo di irradiazione; la sua forma è tronco-conica.

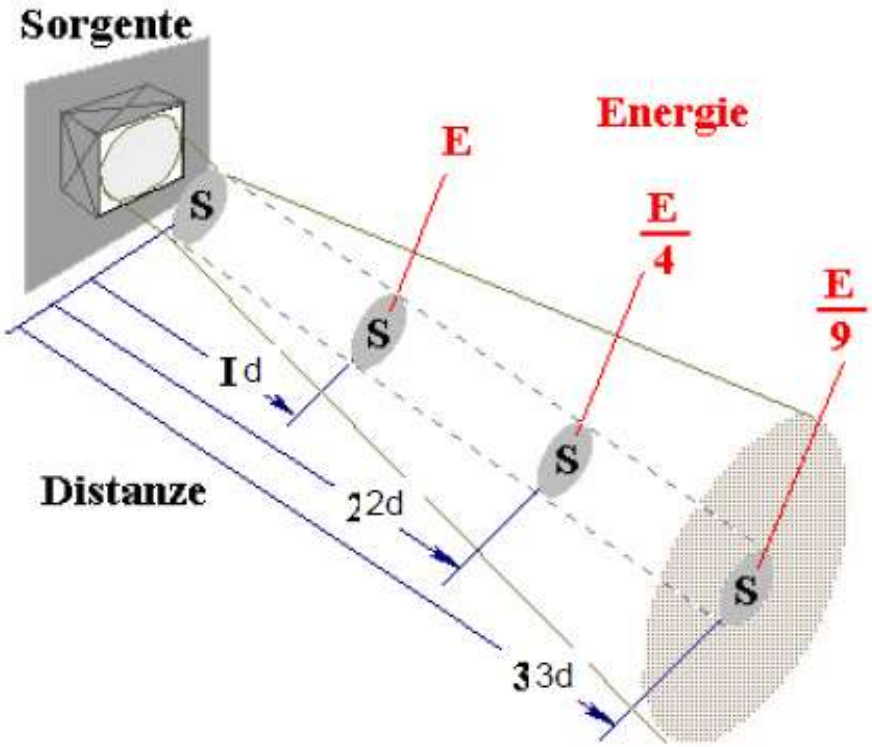


# Geometria del fascio ultrasonoro

Il campo si divide in due zone:

- zona prossima (o zona di Fresnel) = forma cilindrica
- zona lontana (o zona di Fraunhofer) = forma conica divergente con angolo costante, l'onda ultrasonora riduce la sua energia progressivamente all'aumentare della distanza.



# Geometria del fascio ultrasonoro

La profondità della zona prossima e l'angolo di divergenza del fascio nella zona lontana dipendono, in generale, da:

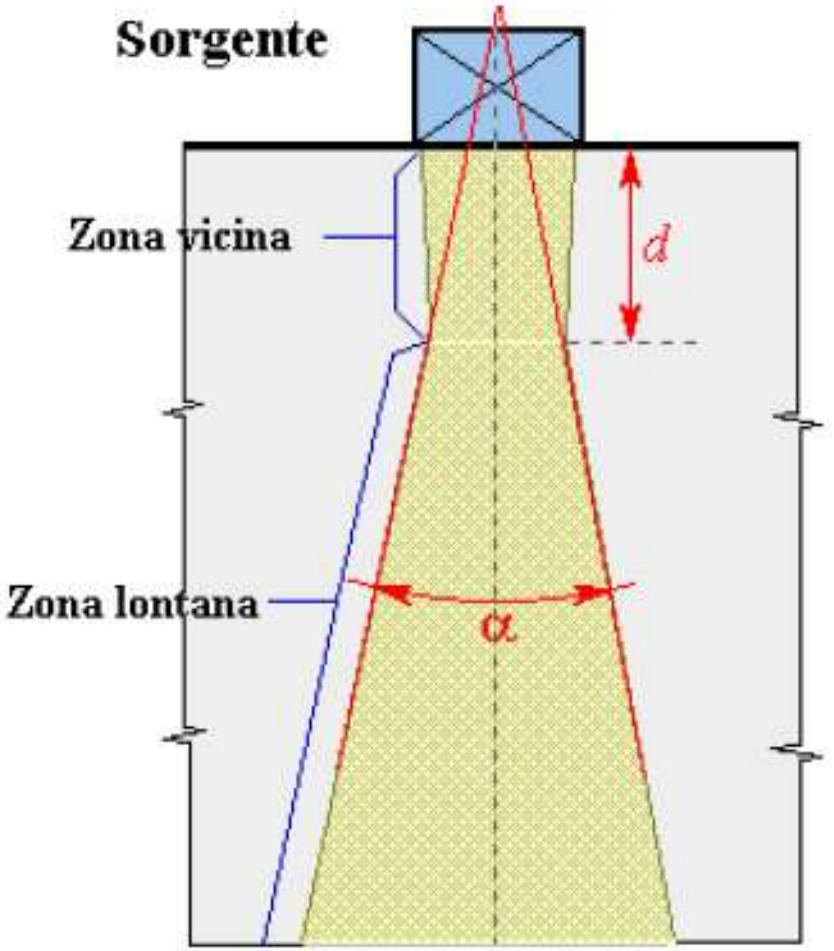
- dimensioni e frequenza della sorgente;
- velocità v di propagazione delle onde nel materiale.

Per una sorgente piana circolare di raggio r che oscilli sinusoidalmente con frequenza f, valgono le seguenti formule di calcolo:

$$d = \frac{D^2 \cdot f}{4 \cdot v}$$

$$\text{sen}\,\alpha = 1{,}22 \cdot \frac{v}{f \cdot D}$$

dove D è il diametro effettivo del trasduttore.



# Attenuazione del fascio

Un fascio di ultrasuoni, propagandosi in un mezzo, si attenua progressivamente fino ad estinguersi.

L'attenuazione è dovuta principalmente a causa di due fenomeni:

- attenuazione geometrica = divergenza del fascio nel campo lontano
- attenuazione strutturale = interazioni con il mezzo attraversato

L'attenuazione strutturale causa il decremento della pressione acustica con la distanza secondo una legge di tipo esponenziale (**legge di attenuazione strutturale**) :

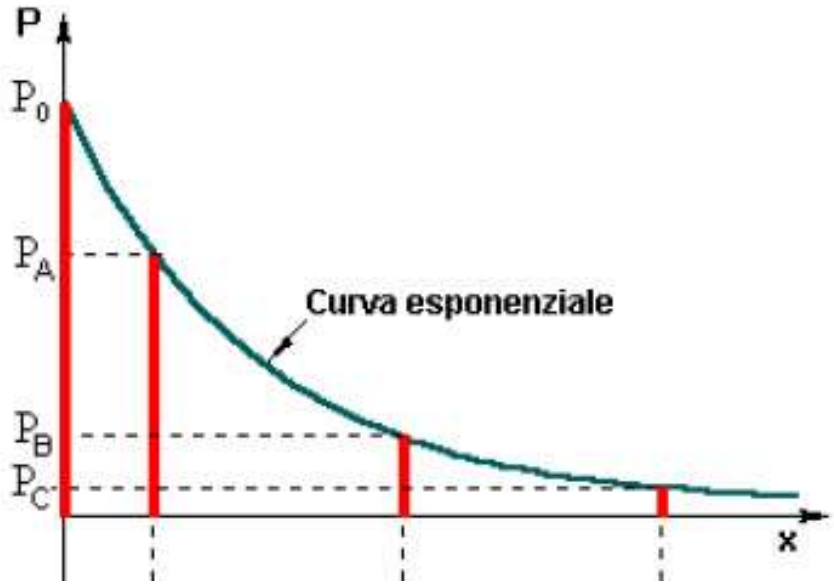
$$P = P_0 \, e^{-\alpha x}$$

dove :

$P_0$ = pressione acustica iniziale
$P$ = pressione acustica finale

x (cm) = lunghezza del percorso ultrasonoro

$\alpha$ (Neper/cm) = coefficiente di attenuazione strutturale

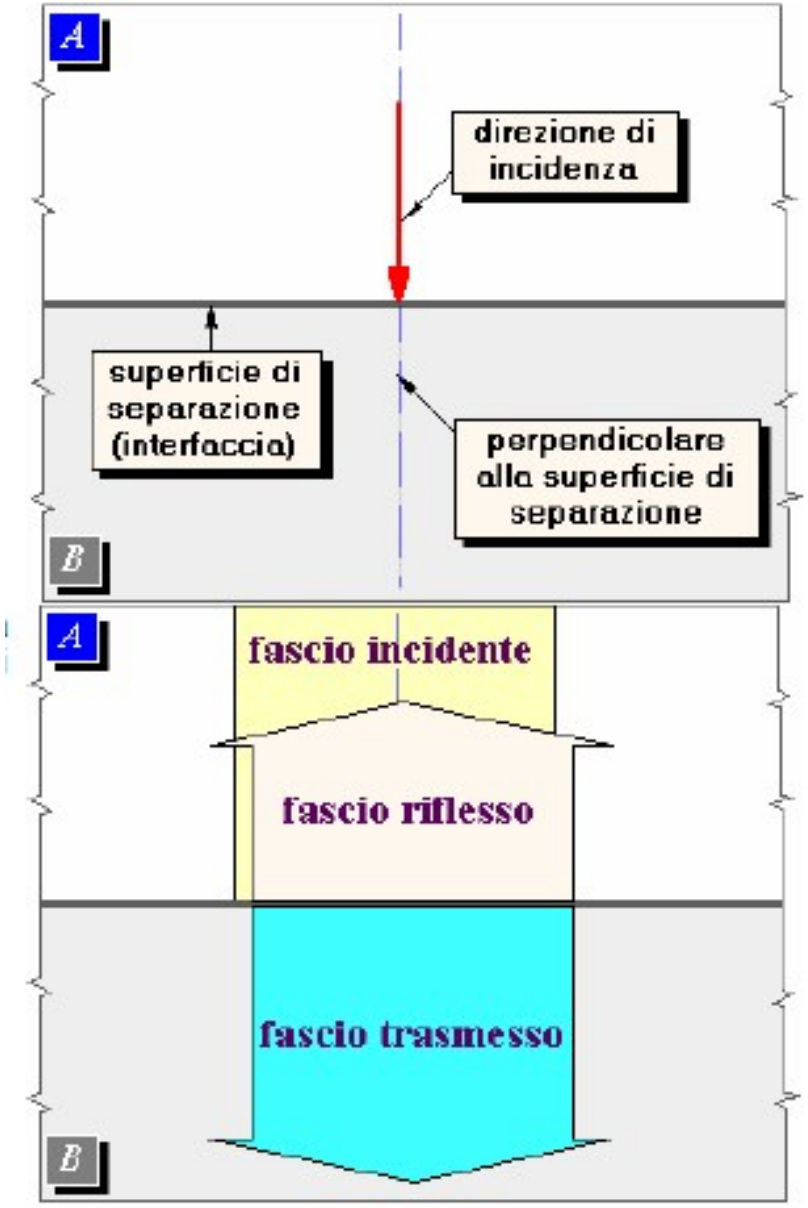


# Leggi della riflessione

Quando il fascio di ultrasuoni incontra la superficie di separazione di due mezzi (detta interfaccia) accade che:

- una parte del fascio viene riflessa dalla superficiedi separazione nel mezzo di provenienza (mezzo A)
- la restante parte del fascio attraversa la superficie e prosegue il suo cammino nel mezzo B

La quantità di energia del fascio che riesce a passare nel materiale B dipende dalle impedenze acustiche dei due materiali.



# Leggi della riflessione

Le grandezze che descrivono quantitativamente il fenomeno sono:

-*coefficente di riflessione* $R_I$= definito come il rapporto tra l'intensità acustica riflessa e quella incidente

-*coefficente di trasmissione* $T_I$= definito come il rapporto tra l'intensità acustica trasmessa e quella incidente

Le espressioni dei coefficienti, in termini di impedenze, sono date da:

$$R_I = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{Z_A - Z_B}{Z_A + Z_B}\right)^2$$

$$T_I = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4Z_A \cdot Z_B}{(Z_A + Z_B)^2}$$

con: $R_I + T_I = 1$

dove: $I_t$ = Intensità fascio trasmesso

$I_r$ = Intensità fascio riflesso

$I_i$ = Intensità fascio incidente

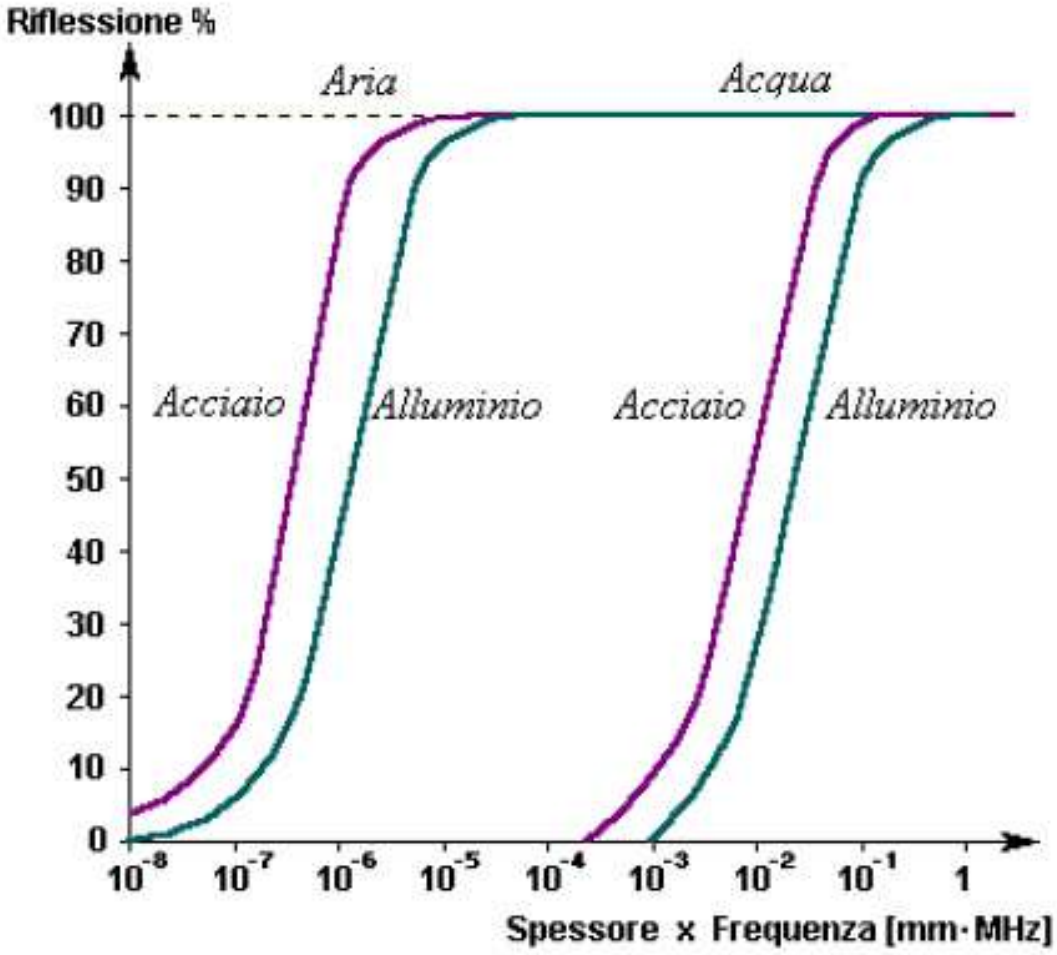
# Leggi della riflessione

In pratica maggiore è la frequenza del fascio ultrasonoro e maggiore sarà la possibilità di rilevare discontinuità con spessori sempre più piccoli.

Il grafico a lato mostra la percentuale di riflessione di una discontinuità di aria o di acqua, nell'acciaio o nell'alluminio, in funzione del prodotto fra lo spessore della discontinuità [mm] e la frequenza [MHz].

Dal grafico risulta che nell'acciaio, con una frequenza di 2 MHz, basta una discontinuità di aria di spessore superiore ad 1/200.000 di mm per avere il 100% di riflessione.

Sempre nell'acciaio, con la discontinuità formata di acqua, si ha il 100% di riflessione se lo spessore della discontinuità è superiore a circa 1/20 di mm.



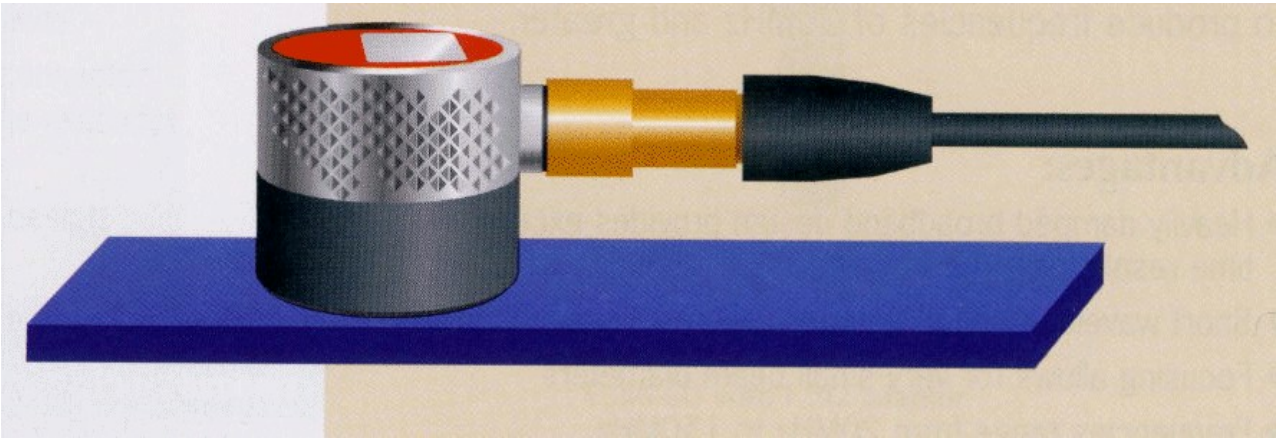
# Trasduttori

La sonda è un elemento fondamentale del sistema di controllo, la cui funzione è quella di:

trasformare in vibrazioni gli impulsi elettrici che arrivano dall'apparecchio, generanti un fascio di onde ultrasonore

trasferire le onde prodotte al materiale da esaminare

raccogliere le onde riflesse e trasformarle in impulsi da inviare all'apparecchio, che li trasforma in segnali visibili sullo schermo



L'elemento principale della sonda è il "trasduttore" il quale realizza le suddette conversioni, sfruttando il principio fisico della piezoelettricità.

# Trasduttori

La piezoelettricità è un fenomeno fisico che si manifesta solamente in alcuni materiali, i quali vengono cosiddetti “piezoelettrici”.

Essa si manifesta quando alle due superfici opposte di un materiale piezoelettrico, viene applicata una tensione elettrica.

Questa tensione elettrica produce l’effetto di una forza; di conseguenza il materiale, che ha la forma di una lamina sottile, comincia ad espandersi e a contrarsi. Si ha quindi una trasformazione dell’energia elettrica in energia meccanica (effetto piezoelettrico diretto).

Se invece al materiale piezoelettrico venisse applicata una forza in grado di deformarlo, tra le due superfici opposte si verrebbe a generare una tensione elettrica. Si ha quindi in questo caso una trasformazione dell’energia meccanica in energia elettrica (effetto piezoelettrico inverso).

# Trasduttori

***Come trasmettitore***

Al trasduttore della sonda viene applicata una tensione elettrica di breve durata che prende il nome di “impulso”.

Il trasduttore si deforma compiendo una serie di oscillazioni smorzate la cui frequenza dipende solamente dallo spessore del trasduttore, fino a riprendere la sua configurazione iniziale.

La trasmissione degli ultrasuoni avverrà mediante il contatto della sonda alla superficie.

***Come ricevitore***

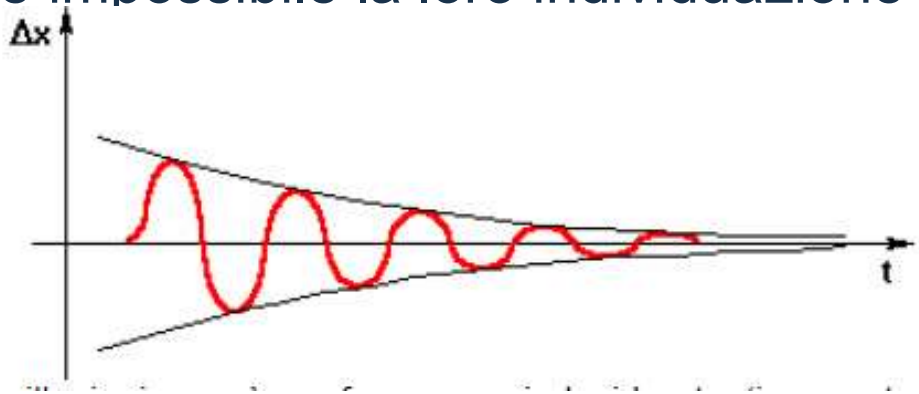
Il ritorno della vibrazione proveniente dalla superficie del pezzo, provocherà il costituirsi di una tensione elettrica tra le due facce parallele del trasduttore. L’impulso sarà inviato all’apparecchio, generando sullo schermo la comparsa di un segnale.

# Eccitazione dei trasduttori

Ricevuto l'impulso, il trasduttore si deforma bruscamente per poi ritornare allo stato di riposo oscillando con la sua frequenza propria di vibrazione (oscillazioni libere smorzate).

In questo caso, lo smorzamento delle oscillazioni non è un fenomeno indesiderato poichè nelle sonde a trasduttore unico (funzionamento sia da trasmettitore che da ricevitore) a seguito della riflessione, le oscillazioni, dopo aver percorso il pezzo, tornano alla sonda e questa deve aver esaurito l'oscillazione in trasmissione.

Infatti, se sul trasduttore il segnale di emissione si sovrapponesse a quello originato dalla riflessione, si renderebbe impossibile la loro individuazione sul dispositivo di visualizzazione.



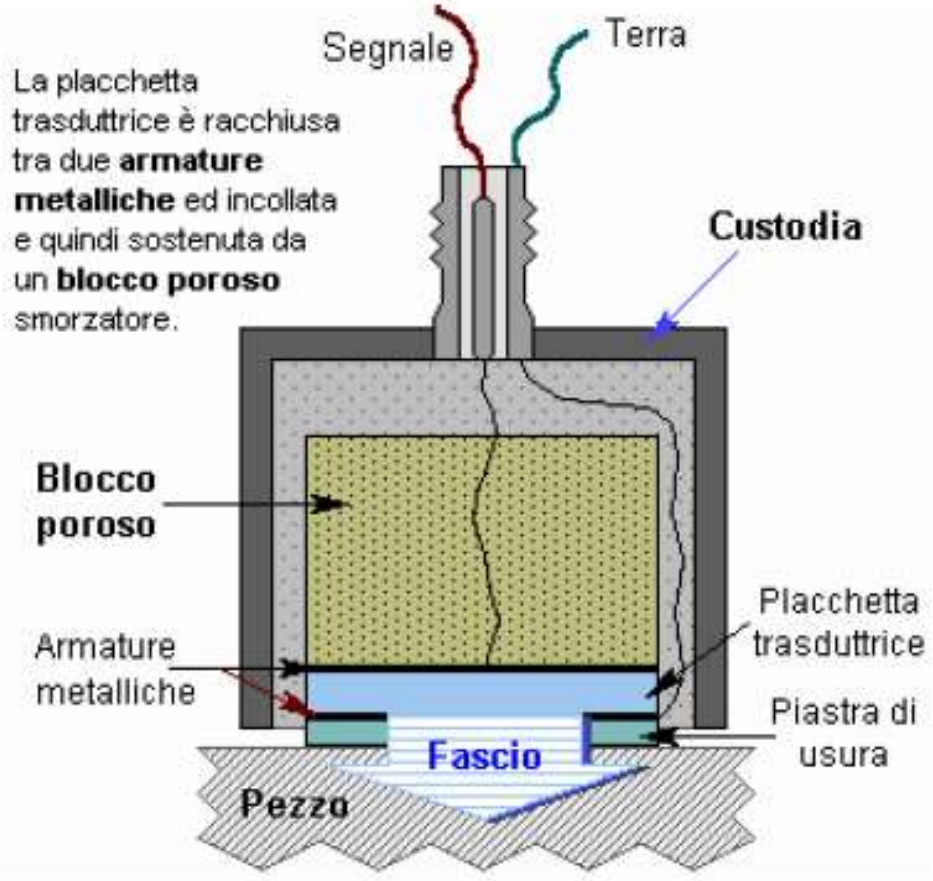
# Trasduttori a fascio normale

I trasduttori a fascio normale producono un fascio perpendicolare alla superficie di incidenza nel pezzo, sono montati entro opportune custodie tali da consentire una facile presa tra le mani.

Sul fondo è fissato il trasduttore che ha una forma circolare.

All'interno dell'involucro si trova una sostanza assorbente (blocco poroso) che ha il compito di smorzare rapidamente lo stato oscillatorio del trasduttore e quindi diminuire la "zona morta".

La superficie interna di quest'ultimo è collegata all'attacco del cavo coassiale mediante il filo di collegamento.

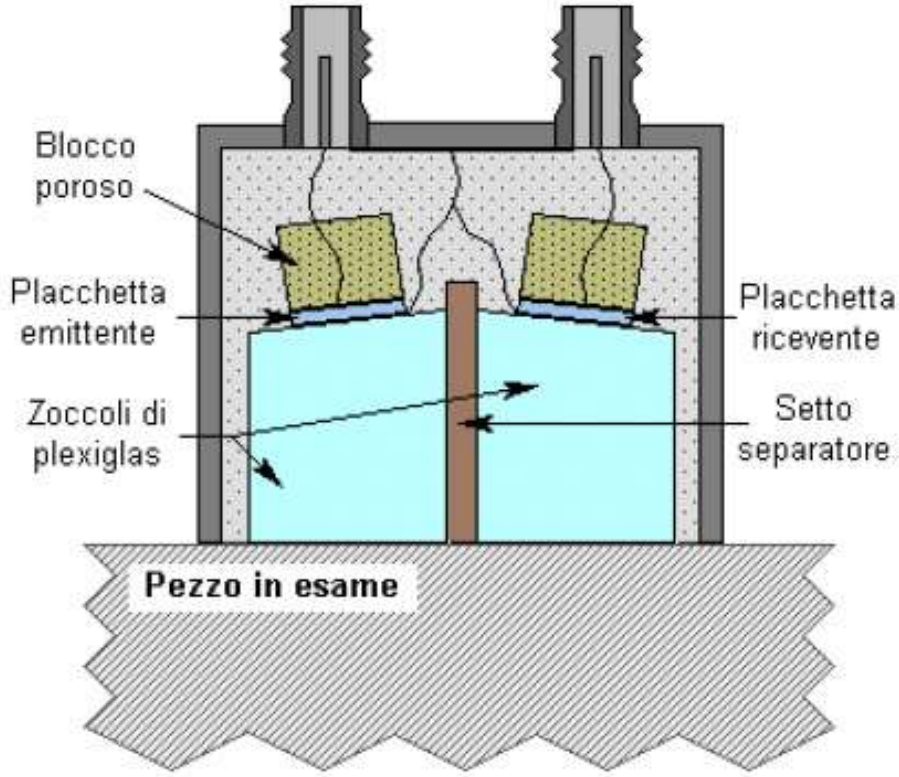


# Trasduttori doppi

A causa della zona morta non è possibile rilevare i difetti situati in prossimità della superficie attraverso cui il fascio entra nel mezzo.

E' possibile però eliminare con un artificio quasi completamente la zona morta usando due trasduttori accoppiati come nella figura a lato.

I trasduttori emettitore e ricevitore sono accoppiati ognuno ad uno zoccolo di Plexiglas; un setto isolante evita il passaggio diretto degli ultrasuoni attraverso il Plexiglas fra emettitore e ricevitore.



# Apparecchio per ultrasuoni

Gli apparecchi per il controllo non distruttivo ad ultrasuoni svolgono le seguenti funzioni:

- forniscono il segnale elettrico che la sonda trasmittente trasformerà in onde acustiche
- ricevono il segnale elettrico della sonda ricevente e lo amplificano
- presentano i segnali, emessi e ricevuti, su uno schermo

Lo schermo può essere:

- un tubo a raggi catodici, come negli apparecchi tradizionali
- uno schermo a cristalli liquidi, come nei moderni apparecchi digitali

# Presentazioni dell'ecogramma

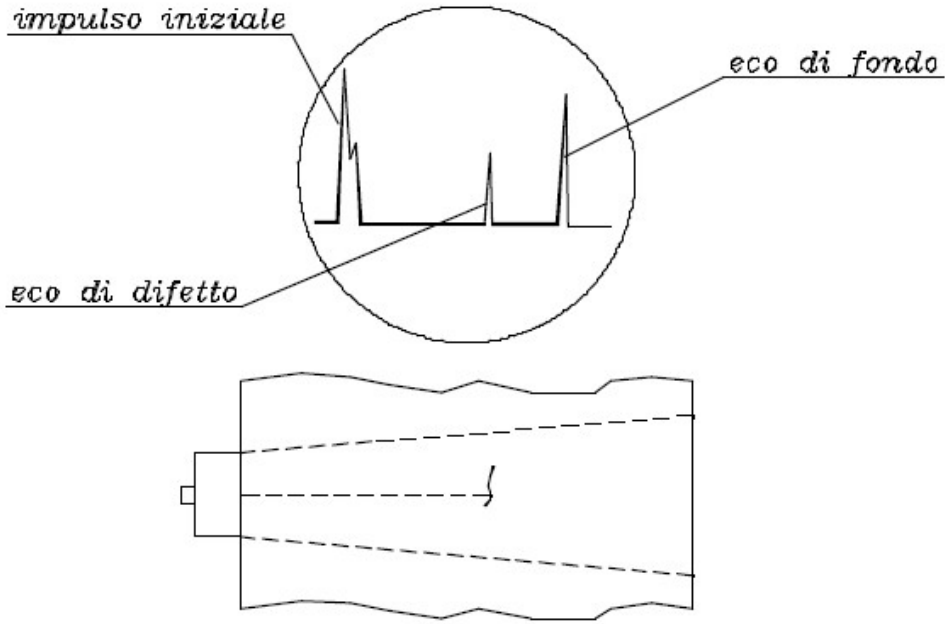
Possono essere impiegati tre tipi di presentazione del segnale relative ad una discontinuità presente nel pezzo in esame.

***Presentazione di tipo A (A scan)***

La discontinuità viene visualizzata sullo schermo da un picco (eco)

La distanza del picco dallo zero della scala sull'asse dei tempi è proporzionale al percorso  che il fascio effettua prima di incidere sulla discontinuità stessa

L'ampiezza del picco è proporzionale alla pressione acustica riflessa dalla discontinuità



# Principio dell'esame – Metodo per riflessione ad impulsi

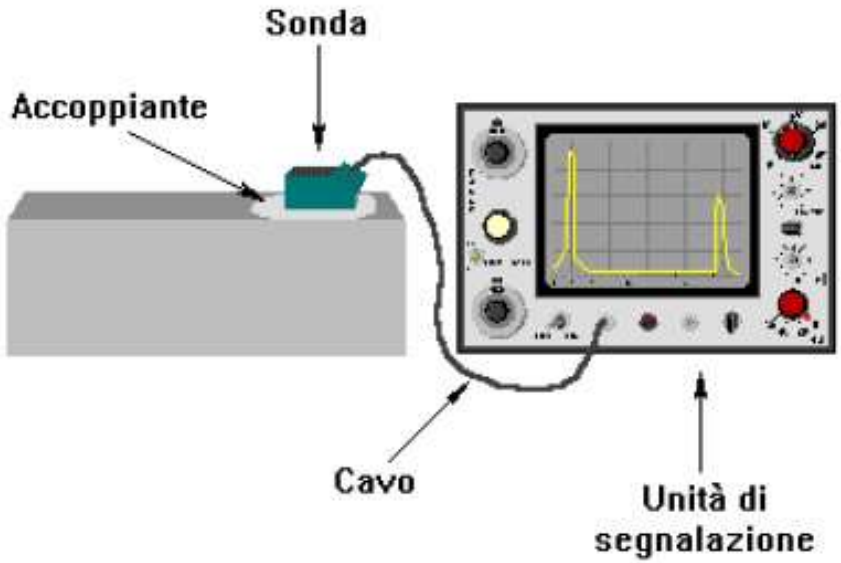
Il metodo si basa sul fenomeno della riflessione che un'onda acustica subisce quando, viaggiando all'interno di un materiale, incontra un ostacolo alla sua propagazione. L'esame richiede l'utilizzo di un sistema composto dai seguenti elementi:

-unità di segnalazione

-cavo

-sonda

-accoppiante

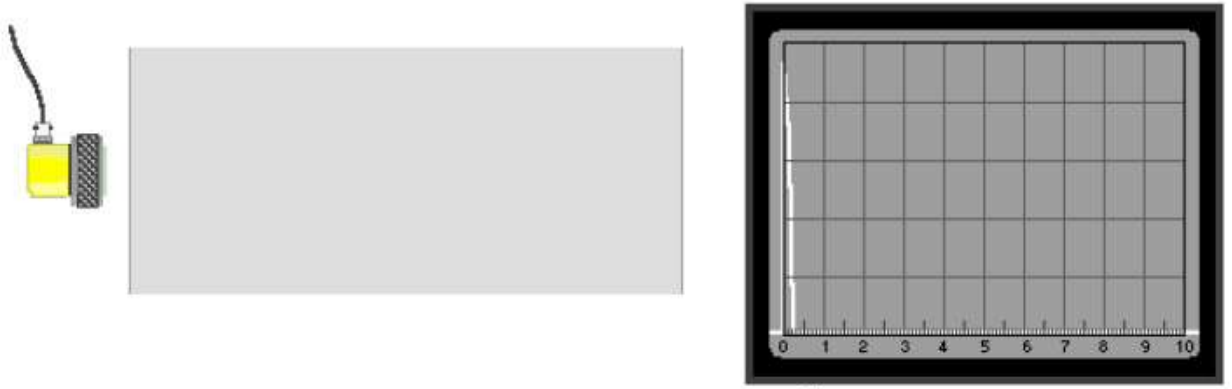



Il fascio di ultrasuoni emesso dalla sonda attraversa il pezzo e, raggiunta la parete di fondo, viene riflesso, ritorna alla sonda e viene segnalato sullo schermo. Se durante il tragitto il fascio incontra una discontinuità, si ha una riflessione anticipata che ne evidenzia la presenza.

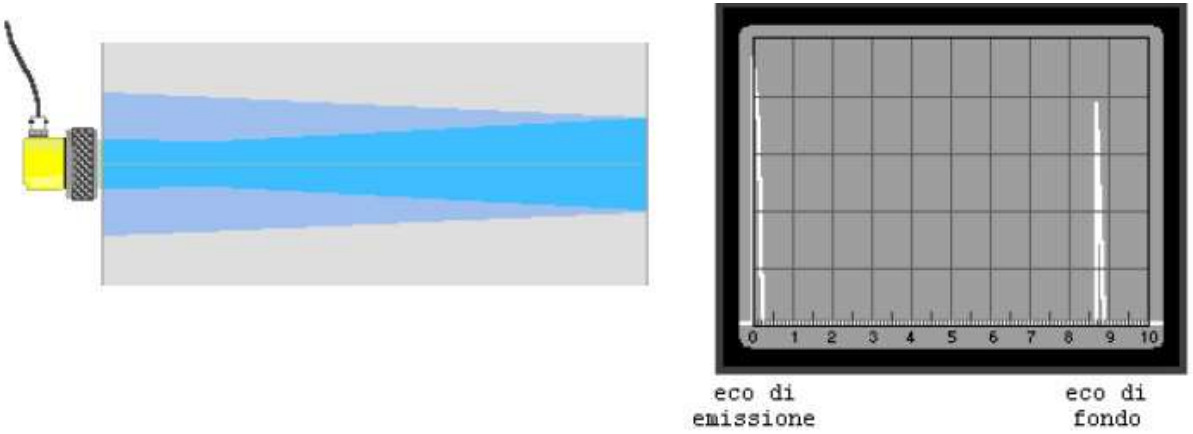
# Metodo per riflessione ad impulsi

Segnali di base (eco di emissione – eco di fondo)

Se il trasduttore non è accoppiato al pezzo




Se il trasduttore è accoppiato ad un pezzo privo di discontinuità

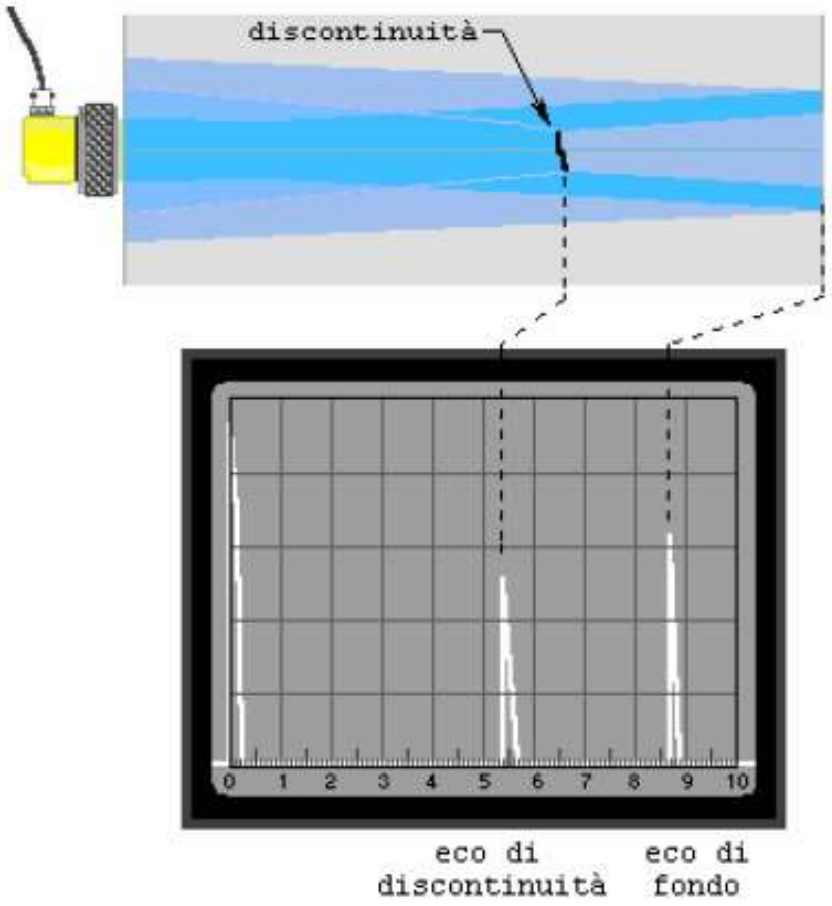


# Metodo per riflessione ad impulsi

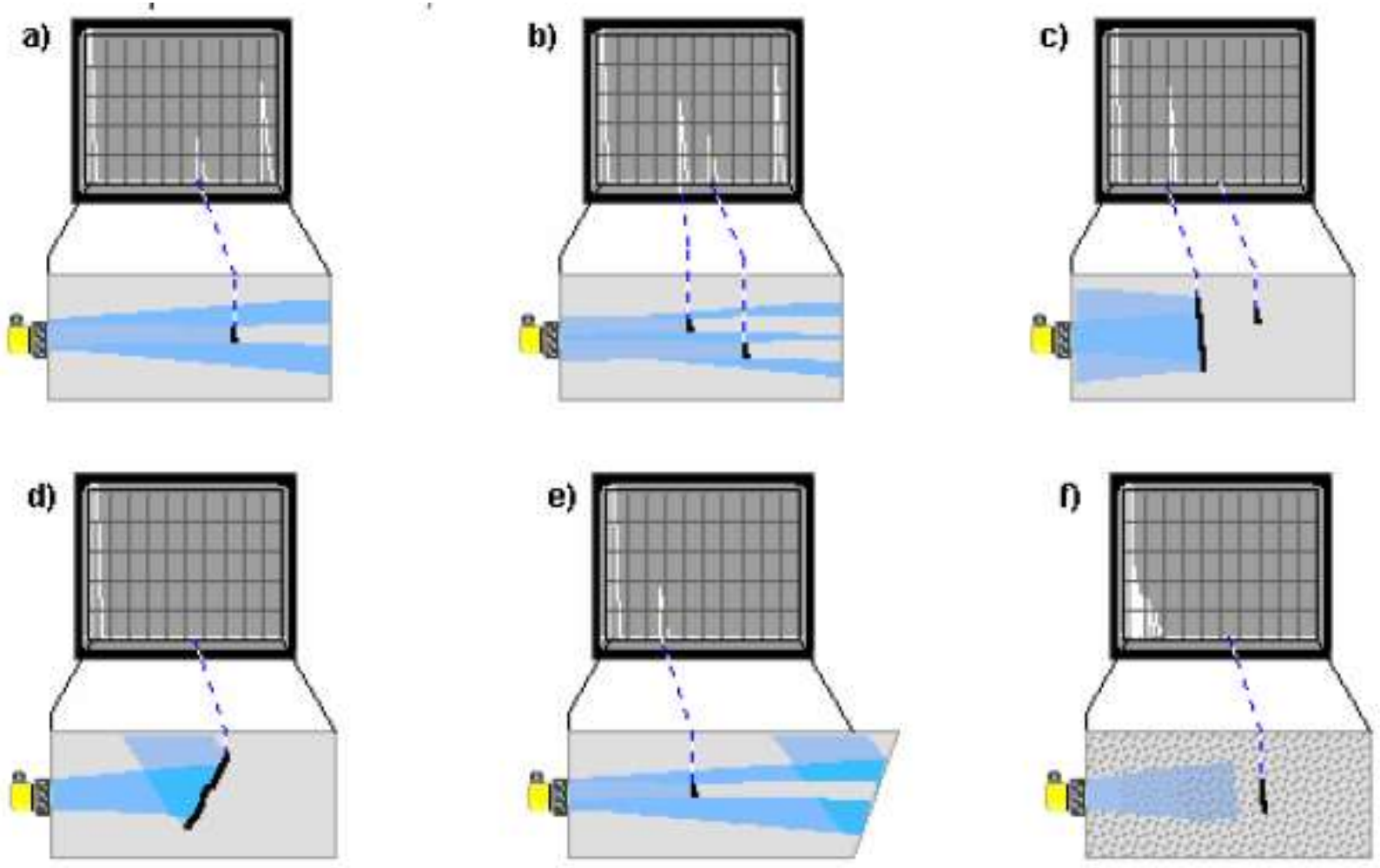
Presenza di una discontinuità. Nel caso più semplice si avrà la riflessione della parte di fascio che investe la discontinuità. La parte non intercettata prosegue il suo cammino e viene riflessa dal fondo.

Il ritorno anticipato delle onde riflessa dalla discontinuità farà comparire sullo schermo un terzo picco fra l'eco di emission e quello di fondo, che rappresenta l'eco della discontinuità.

La minore "quantità" di fascio che investe la parte di fondo fa si che l'ampiezza dell'eco corrispondente sia ridotta rispetto al caso di assenza di discontinuità.



# Casi tipici di riflessione




Caso “f”: il pezzo ha una struttura grossa e porosa. La grana del pezzo diffonde il fascio che arriva attenuato alla discontinuità e alla superficie di fondo.

# Tecniche di esame

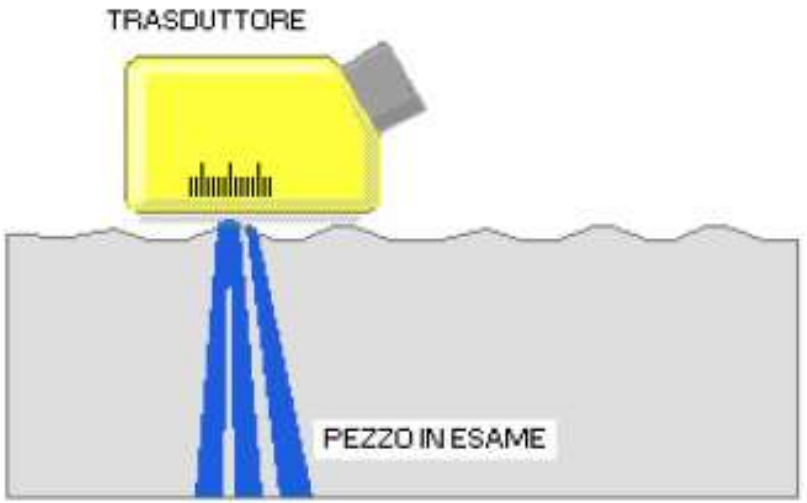
Per tecnica di esame si intende il sistema che viene adottato per realizzare l'accoppiamento acustico tra il trasduttore ed il pezzo da esaminare.

Due sono le tecniche adottate:

- la tecnica a contatto, applicata in particolare nel controllo manuale
- la tecnica ad immersione, applicata in particolare nel controllo automatic

Ricordiamo che anche un piccolo strato di aria costituisce un serio ostacolo alla propagazione degli ultrasuoni.

Per evitare ciò, tra la superficie del trasduttore ed il pezzo si deve interporre un idoneo materiale (mezzo di accoppiamento) che si sostituisca completamente all'aria.

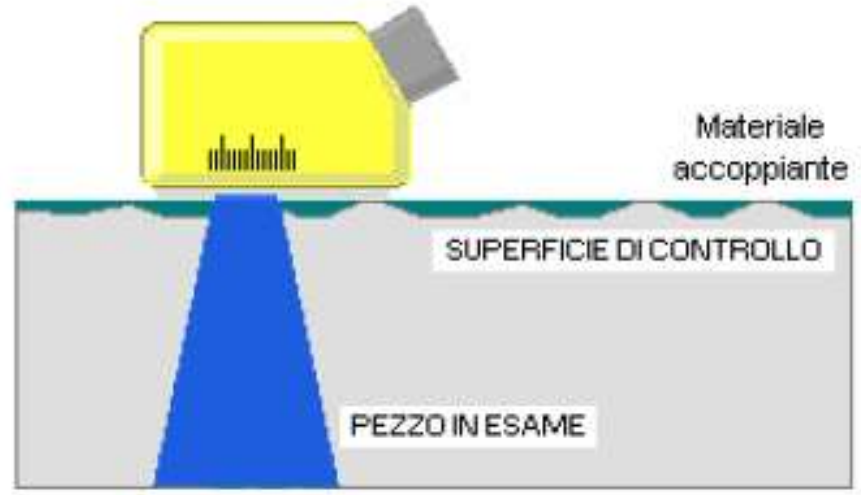


# Tecnica a contatto

Consiste nel far scorrere il trasduttore sulla superficie del pezzo dopo aver applicato uno strato sottile ed uniforme di accoppiante.

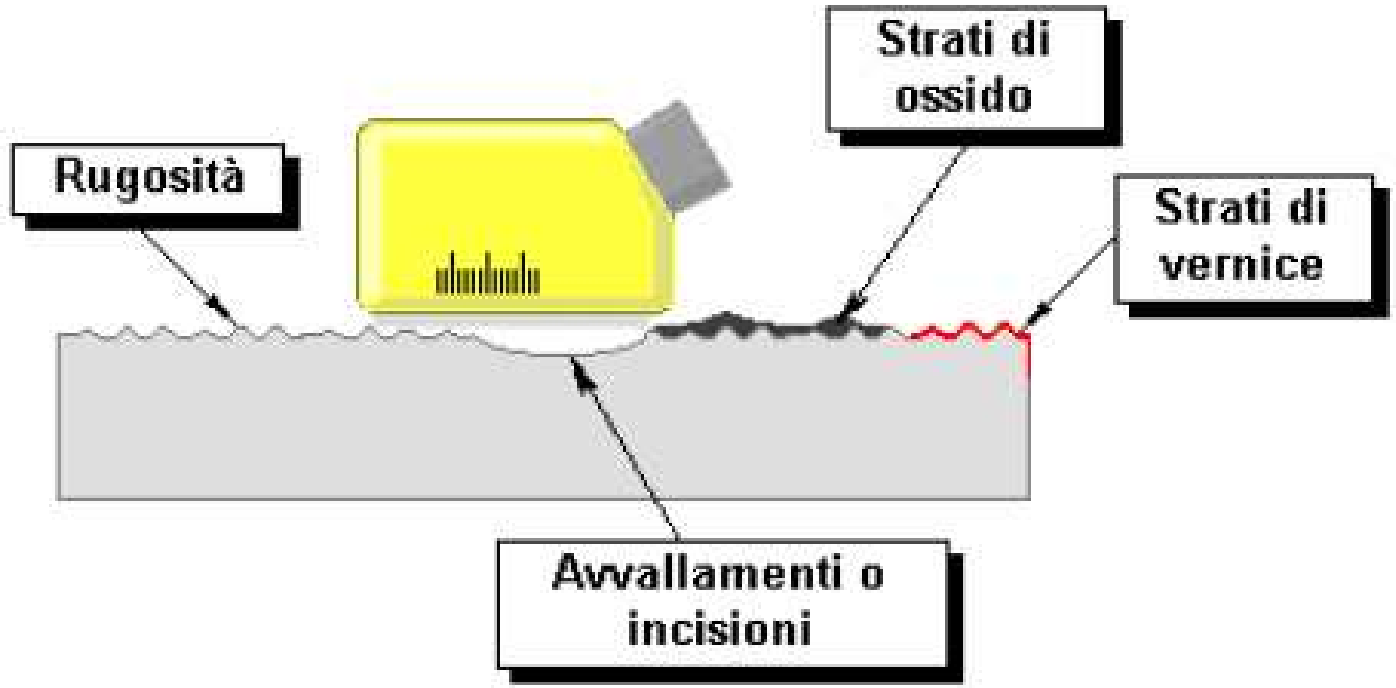
Un buon accoppiante deve:

- essere facilmente applicabile
- avere un forte effetto bagnante
- deve eavere una impedenza acustica intermedia al fine di ridurre al minimo le perdite di accoppiamento
- non deve produrre ossidi sulla superficie
- avere il giusto grado di viscosità



# Tecnica a contatto – Esame della superficie

L’applicazione della tecnica a contatto richiede un attento esame delle condizioni della superficie di controllo. In particolare si deve prestare attenzione alla presenza di ossidi, eccessiva rugosità, avvallamenti o incisioni, presenza di vernici o rivestimenti.



## TARATURA UNITA'

Prima di inziare l'esame di un pezzo è necessario predisporre la strumentazione attreverso una serie di operazioni che prende il nome di taratura.

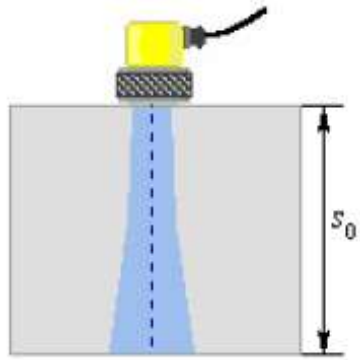
Le principali fasi della taratura sono due: la taratura dell'asse dei tempi e la taratura della sensibilità.

La prima operazione consente di stabilire la profondità di una discontinuità in base alla posizione del segnale corrispondente sulla scala orizzontale dello schermo.

La seconda operazione consente di ottenere informazioni sulla estensione della discontinuità dall'altezza del segnale.

# Taratura asse dei tempi

Si chiama fondo scala (f.s.) la massima distanza che si ha bisogno di rappresentare sullo schermo per poter controllare l'intero spessore del pezzo in esame.




Procedura per la taratura dell'asse dei tempi:

-si sceglie uno spessore noto $s_0 \leq d_{f.s.}/2$

-si regola la scansione in modo che sullo schermo appaiano N riflessioni dal fondo dove $N=d_{f.s.}/ s_0$

-regolando la scansione si fanno corrispondere le posizioni del primo e dell'ultimo degli N segnali, rispettivamente, alle divisioni N/100 e 100 della scala dello schermo, dove 100 è il numero totale di divisioni.

**Esempio**

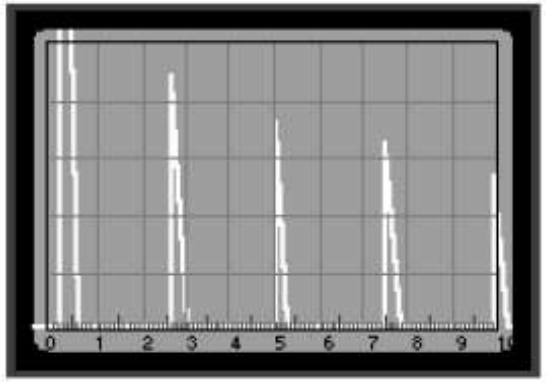
Fondo scala da impostare:

$d_{fS}$ = 200 mm

Spessore di riferimento:

$s_0$ = 50 mm

$N$ = 200 / 50 = 4

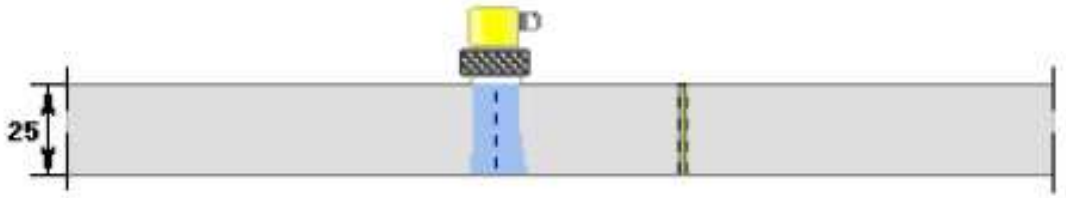


# Taratura asse dei tempi

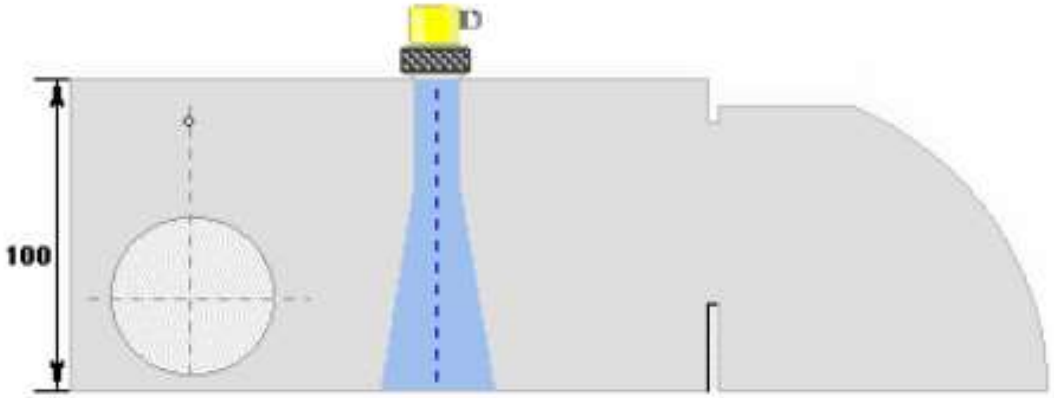
## Sonda a fascio longitudonale

Il blocco V1 consente di disporre di due spessori-tipo (25 e 100 mm).

Taratura con fondo scala 100 mm. Compariranno 4 echi di fondo in corrispondenza delle divisioni 25, 50, 75, 100 mm.




Taratura con fondo scala 200, 300, 400 e più mm.



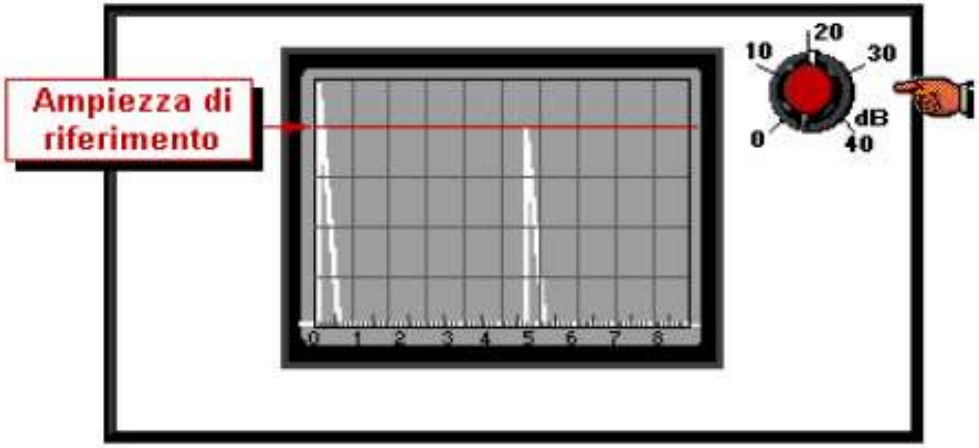
# Taratura della sensibilità

Nell'esame con ultrasuoni l'entità di una discontinuità viene valutata confrontando l'ampiezza del suo segnale con quella prodotta da un difetto campione (solitamente un foro praticato in un blocco campione).

L'ampiezza di riferimento viene stabilita irradiando il difetto campione e regolando l'amplificazione in modo da portare l'eco riflessa ad un'altezza predeterminata dello schermo (solitamente l'80%).

Tale operazione prende il nome di: taratura della sensibilità di esame

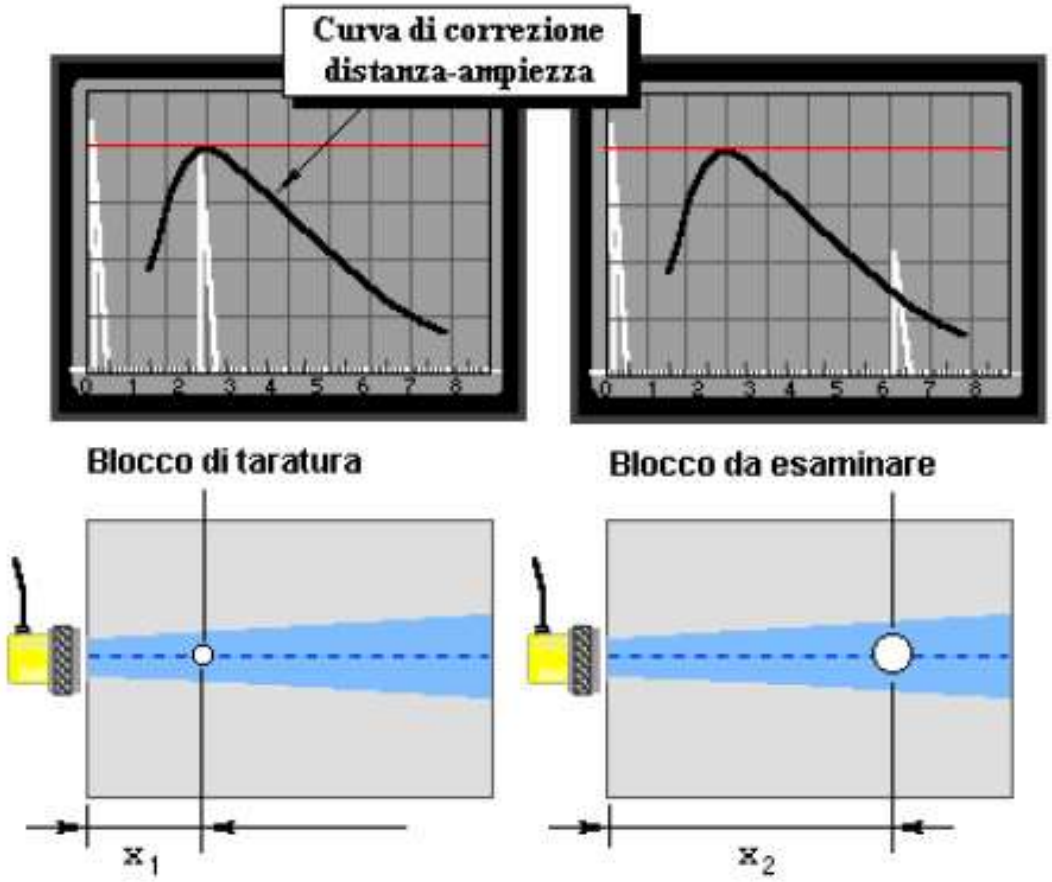
Se la discontinuità campione viene considerate come il limite di accettabilità, l'ampiezza di riferimento permette di distinguere le discontinuità accettabili da quelle non accettabili.



# Taratura della sensibilità

La taratura deve però essere corretta per tener conto dei fenomeni di attenuazione che il fascio subisce nel mezzo in cui si propaga. In caso contrario una discontinuità sufficientemente lontana potrebbe essere ritenuta accettabile solo perchè indicata da un segnale più basso dell'ampiezza di riferimento.

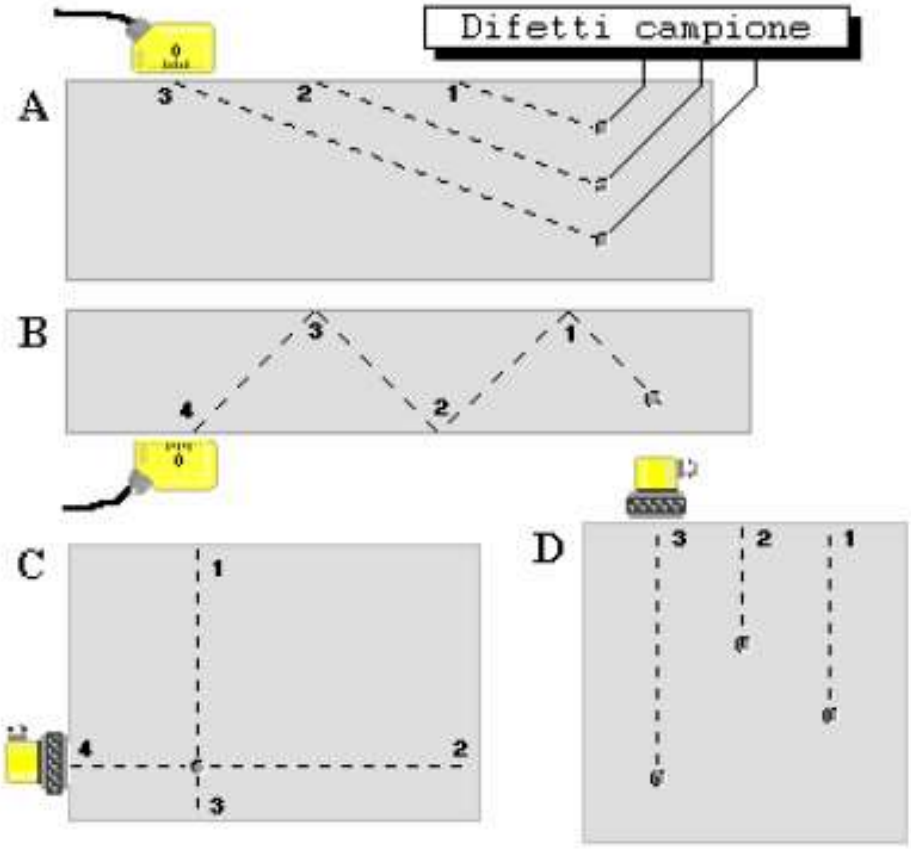
Questa curva prende il nome di curva di correzione distanza-ampiezza (curva DAC).



# Costruzione della curva DAC

La costruzione della curva DAC viene fatta utilizzando le riflessioni da una serie di difetti campione disposti in un blocco di riferimento a diverse distanze dalla sonda. I fori devono avere il medesimo diametro, corrispondente al valore della dimensione di riferimento.

A titolo di esempio si riportano alcuni tipici schemi di posizionamento della sonda per la taratura della sensibilità con fascio angolato (A, B) e longitudinale (C, D), su blocchi con un singolo foro (B, C) o con più fori di taratura (A, D).



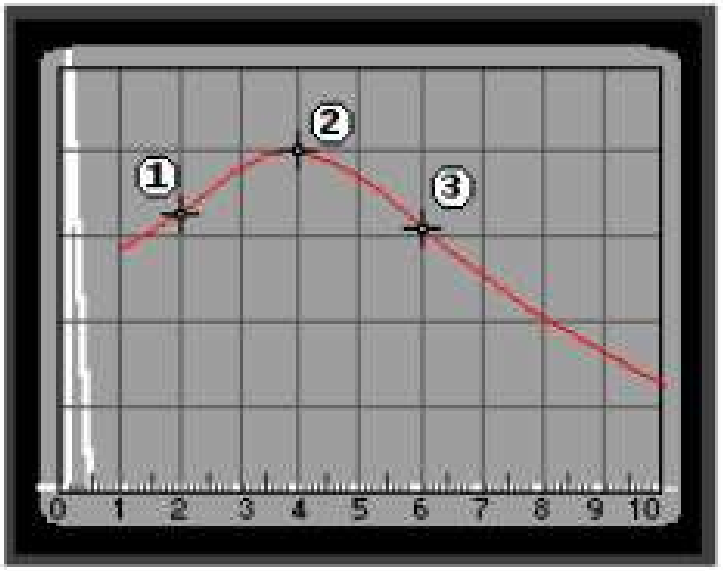
## Costruzione della curva DAC

1. Si posiziona la sonda sul blocco campione andando ad irradiare la superficie del foro più vicino.

2. Con piccoli spostamenti della sonda si trova la posizione che da luogo alla massima altezza del segnale e si amplifica quest'ultimo a circa l'80% dell'altezza utile dello schermo. Si fissa il primo punto della curva.

3. Senza toccare più il comando dell'amplificazione, con la stessa procedura si sposta in seguito la sonda sui fori progressivamente più distanti, fissando i relativi punti.

4. Congiungendo i punti fissati si ottiene l'andamento della curva D.A.C. che rappresenta il nostro livello di riferimento.



# Valutazione delle discontinuità

L'entità della discontinuità viene valutata considerando l'ampiezza dell'eco riflessa in rapporto all'altezza della curva DAC.

L'eco può avere ampiezza:

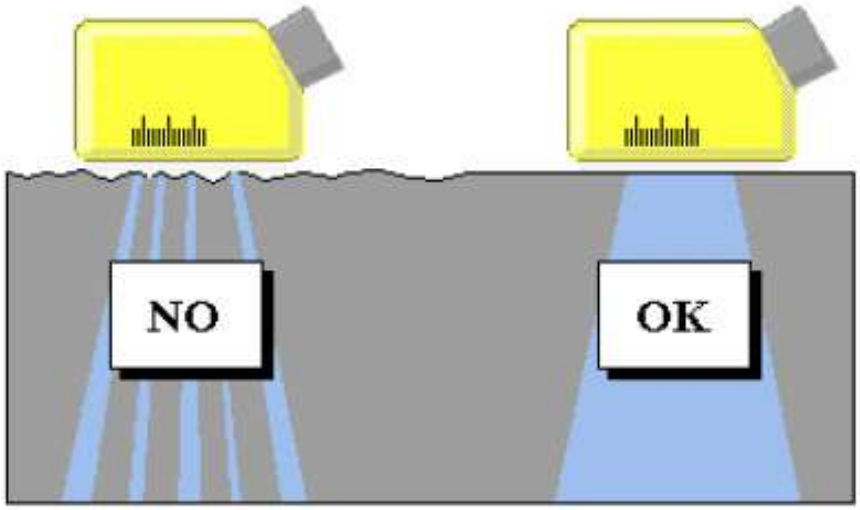
- uguale alla DAC. La discontinuità avrà allora un'entità del 100% (equivalente al difetto campione)
- superiore alla DAC. La discontinuità avrà allora un'entità del 100% più il numero di dB di cui è necessario diminuire l'amplificazione per portare il picco dell'eco alla stessa altezza della curva
- Inferiore alla DAC. L'entità della discontinuità è data dal rapporto (espresso in percentuale) tra l'altezza dell'eco e l'altezza corrispondente della curva.

## MODALITA' DI ESECUZIONE

- Preparazione della superficie (ripulire la superficie da sporcizia, ruggine, scoria, spruzzi di saldatura e strati di ossido – anche la rugosità superficiale non deve essere troppo elevata)

- Taratura dell'asse dei tempi (fondo scala)

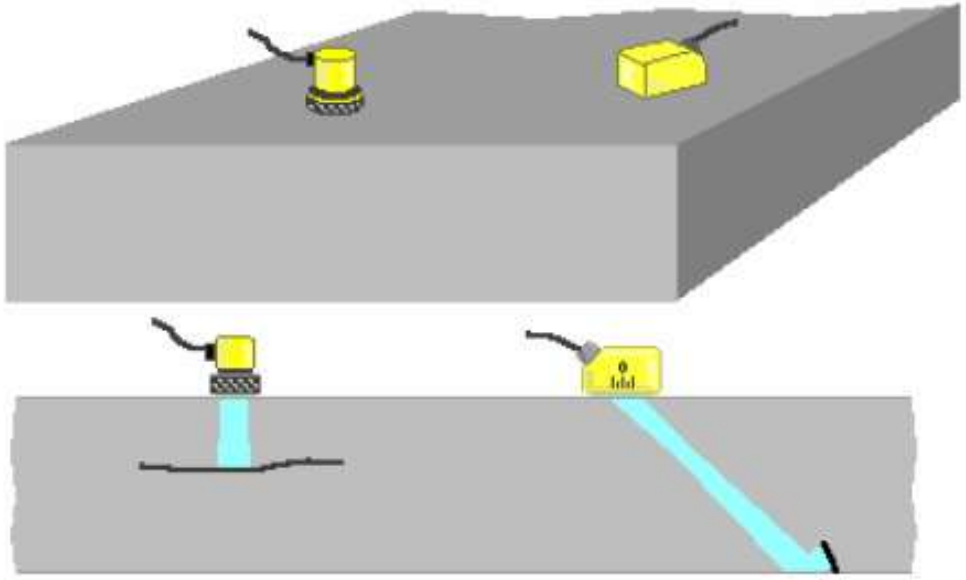
- Taratura della sensibilità e blocchi campione



## ESAME DI LAMIERE

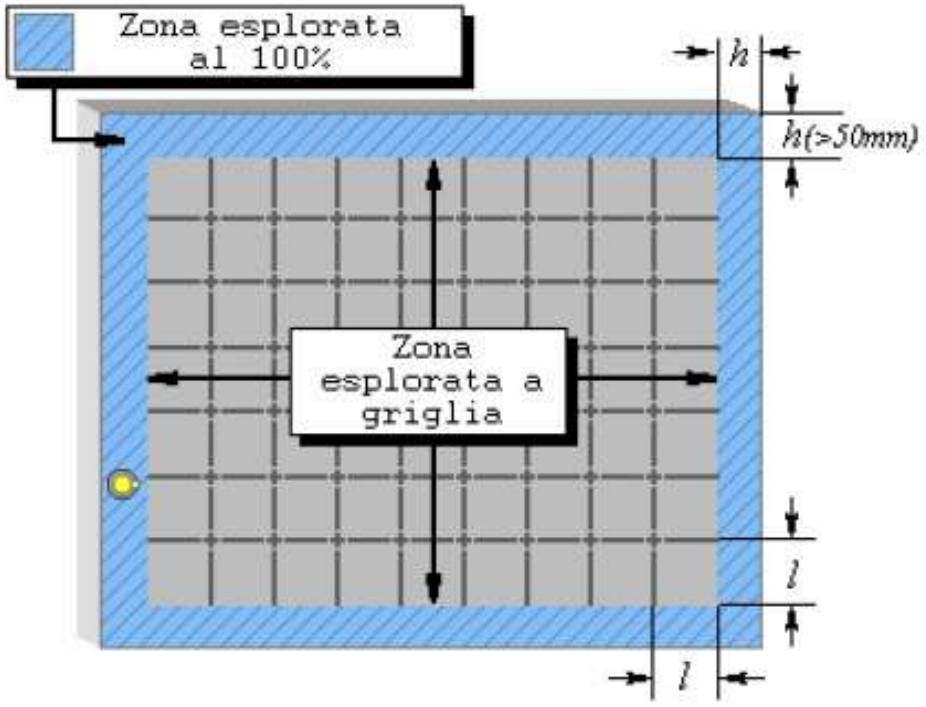
- Il controllo delle lamiere viene eseguito normalmente con sonde a fascio normale per rilevare discontinuità interne di natura laminare come sdoppiature , segregazioni, inclusioni, quelle cioè aventi il piano principale di giacitura paralleloalle superfici della lamiera.

- Normalmente l’esame viene condotto con il metodo per riflessione, esplorando la lamiera a contatto da un solo lato.



## ESAME DI LAMIERE

- Raramente viene richiesto il controllo del pezzo al 100%. Soltanto i bordi devono essere spesso completamente esplorati, per un fascia di larghezza h non inferior a 50 mm.
- La scansione della parte centrale avviene per punti o tracciando sulla superficie un reticolo a maglie quadrate.
- Il lato "l" della maglia è in genere 100 o 200 mm.

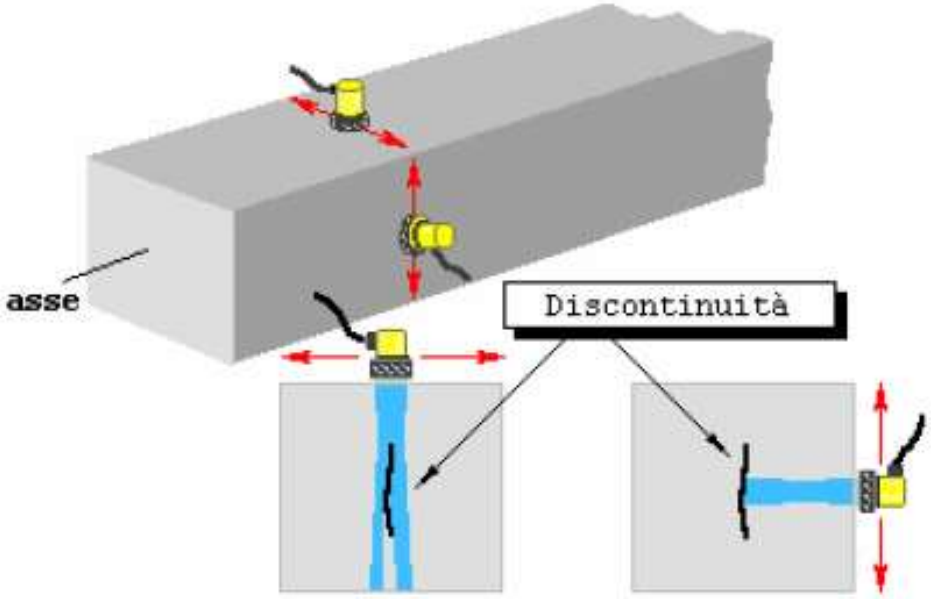


## ESAME DI FUCINATI

- L'esame dei fucinati a forma di parallelepiedo si esegue muovendo la sonda perpendicolarmente all'asse del pezzo su due facce ortogonali.

- Questa tecnica assicura la rilevazione di discontinuità comunque orientate all'interno del pezzo.

- Tecnica a riflessione per contatto diretto.



## ESAME DI FUCINATI

- L’esame dei fucinati di forma cilindrica si esegue radialmente in modo da ricoprire o l’intera circonferenza oppure un angolo di almento 180° lungo tutto l’asse del pezzo.

