



Numero progetto 2020-1-PL01-KA202-081820

IO3 - Kit di Materiali Didattici per il Corso di Formazione EDTT

Stato del documento		
Versione	Data	Descrizione
1	dicembre-2022	<i>Versione bozza – Proposta iniziale</i>
2	Gennaio-2023	<i>Versione bozza – per revisione</i>
3	Maggio-2023	<i>Versione finale</i>



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Questo progetto è stato finanziato con il sostegno della Commissione Europea. Questa pubblicazione riflette solo il punto di vista dell'autore e la Commissione non può essere ritenuta responsabile per qualsiasi uso che possa essere fatto delle informazioni in essa contenute.

Contenuti

Contenuti	2
IO. Introduzione al kit.....	3
II. Manuale	4
1. Introduzione ai test distruttivi	4
1.1. Introduzione alle Prove Distruttive e Norme di Sicurezza nelle Prove Distruttive	4
1.2. Progettazione di macchinari e attrezzature per prove distruttive.....	12
2. Prove Meccaniche (Prove di Trazione, Prova di Piegatura, Prova di Resilienza Charpy, Prova di Frattura, Prova di Durezza)	21
2.1. Prove di trazione dei metalli a temperatura ambiente	21
2.2. Prove di trazione di giunti saldati con saldature di testa, giunti cruciformi, giunti sovrapposti e giunti con saldature d'angolo	35
2.3. Prove di piegatura di metalli e giunti saldati	45
2.4. Prova Charpy di resistenza all'urto di metalli e giunti saldati.....	63
2.5. Prove di frattura di giunti saldati	82
2.6. Prove di durezza dei giunti saldati	95
2.7. Esercizi per la classe	101
3. Incertezza di misura	108
3.1. Metodi generali di calcolo delle incertezze	108
3.2. Incertezza di misura per prove di trazione, resilienza e durezza.....	114
3.3. Esercizi per la classe	143
III. Valutazione (database di domande e risposte e 5 compiti di esame pratico) - accesso limitato agli ANB.....	145
IV. Linee guida per lo sviluppo dei PPT	162
v. Strumento per la misurazione dell'incertezza	49

I. Introduzione al kit

Questo IO3 riguarda lo sviluppo delle risorse necessarie per la futura implementazione della qualifica EDTT a livello nazionale, e si rivolge sia ai formatori/insegnanti che ai tirocinanti e all'ANB (Ente Nominato Autorizzato dell'EFWF) per facilitare il processo di apprendimento, e la trasferibilità del titolo.

Comprende lo sviluppo di un manuale con strumenti di formazione e strumenti di valutazione innovativi (accesso limitato agli ANB nazionali dell'EFWF), come compiti di apprendimento basati sui problemi, nonché esercitazioni pratiche per l'aula. I contenuti di questo manuale (ovvero il kit di materiali educativi EDTT) saranno pilotati su eventi pilota nazionali con i gruppi target TRUST, per tenere conto di eventuali miglioramenti ritenuti necessari.

Tutti i partner hanno contribuito allo sviluppo dei materiali didattici e sono stati coinvolti nell'elaborazione di tutti gli strumenti di valutazione da utilizzare nel corso di formazione. I partner TRUST garantiranno che gli esercizi e gli strumenti di valutazione creati siano completamente allineati con il campo dei test distruttivi sviluppando casi di studio reali e incarichi di apprendimento basati sui problemi basati su contesti industriali reali. Ciò garantirà ai tirocinanti iscritti al corso di formazione EDTT, di avere l'opportunità di risolvere i problemi che i professionisti che lavorano sui test distruttivi affrontano quotidianamente, preparandoli quindi meglio ad affrontare alcuni di questi problemi nella vita reale.

Anche se gli strumenti di valutazione sviluppati hanno un accesso limitato agli ANB nazionali dell'EFWF, saranno tradotti per essere disponibili nelle lingue nazionali dei partner (PT, IT, PL e RO), così come gli esercizi pratici per la classe, garantendo la loro corretta applicazione a livello nazionale nell'attuazione del corso di formazione EDTT. Ciò è in linea con le caratteristiche armonizzate della qualifica EDTT, il che significa che tutti i tirocinanti hanno accesso alla stessa formazione, agli stessi esercizi e alle stesse procedure di valutazione, indipendentemente dal loro contesto.

II. Manuale

Per motivi di riservatezza, questa è l'unica parte del Kit di Materiali Didattici a cui possono accedere i tirocinanti. Questi materiali sono indirizzati a supportare i formatori che forniscono i contenuti tecnici del corso di formazione EDTT, per creare un ambiente di apprendimento dinamico basato su un approccio centrato sul discente. Allo stesso tempo i tirocinanti possono usarlo come guida per approfondire gli argomenti.

È strutturato seguendo esattamente la stessa struttura delle 3 unità di competenza che fanno parte del Curriculum EDTT (sviluppato sotto IO2):

1. Introduzione ai test distruttivi
2. Prove Meccaniche (Prove di Trazione, Prova di Piegatura, Prova di Resilienza Charpy, Prova di Frattura, Prova di Durezza)
3. Incertezza di misura

1. Introduzione ai test distruttivi

1.1. Introduzione alle Prove Distruttive e Norme di Sicurezza nelle Prove Distruttive

Nel mondo moderno utilizziamo molti materiali diversi per costruire strutture, componenti e macchinari. La corretta progettazione di questi articoli richiede una buona conoscenza delle proprietà dei materiali che li costituiscono, vale a dire proprietà meccaniche come resistenza alla trazione, rigidità, tenacità, durezza e duttilità.

Per determinare queste proprietà sono stati proposti diversi tipi di prove, generalmente chiamate prove meccaniche o prove distruttive, in quanto richiedono solitamente la distruzione del pezzo in prova. In quanto tali, questi test sono normalmente utilizzati mediante campionamento e potrebbero servire a diversi scopi, vale a dire:

- Determinare le proprietà dei materiali necessarie per la progettazione di componenti e strutture.
- Ricevimento delle materie prime per confermare la conformità delle loro proprietà al disciplinare.
- Qualificazione di alcuni processi di lavorazione o giunzione. La saldatura è un esempio tipico ed estremamente importante.
- Qualità dei giunti di saldatura di produzione.
- Indagine su incidenti o casi di guasto.
- Ricerca per lo sviluppo di nuovi materiali o nuovi processi produttivi.

Nell'ultimo secolo sono state proposte centinaia di diverse prove meccaniche per determinare o analizzare diverse proprietà, la sezione due introdurrà diverse prove spesso utilizzate per determinare le proprietà di base dei materiali e con particolare rilevanza nella saldatura. Per comprendere meglio queste prove, introdurremo di seguito alcuni concetti di base riguardanti le prove e il comportamento dei materiali, in particolare dei materiali metallici, e dei giunti di saldatura.

1.1.1. Concetti basilari

La resistenza meccanica di un determinato materiale è una caratteristica importante. Tuttavia, esprimere questo come il carico massimo che il materiale può sopportare senza cedimenti non è pratico perché un pezzo di materiale più spesso sosterrà un carico maggiore. Un'altra importante proprietà o parametro nelle prove meccaniche è l'allungamento di una data lunghezza di materiale a un dato carico. Come con il carico, l'utilizzo dell'allungamento del materiale non è pratico perché un pezzo di materiale più lungo avrà un allungamento maggiore. Pertanto, nei test meccanici e nell'ingegneria utilizziamo i concetti di sollecitazione e deformazione meccanica per quantificare queste proprietà del materiale.

Lo stress è definito come il carico applicato al pezzo di materiale diviso per l'incrocio resistente del pezzo. Questo è solitamente chiamato stress diretto o stress normale perché la sezione trasversale è perpendicolare alla forza e rappresentata dalla lettera greca sigma (σ). In Figura 1.a) se $F=20$ kN e la sezione AA' è 100 mm² allora:

$$F=20\,000\text{ N}$$

$$AA'=10\text{ mm}^2=0,0001\text{ m}^2 \quad \text{e lo stress:}$$

$$\sigma = \frac{20\,000}{0.0001} = 200\,000\,000\text{ N/m} = 200\,000\,000\text{ Pa} = 200\text{ MPa}$$

Quindi, lo stress meccanico ha le stesse unità della pressione, Pascal (Pa) o più spesso nel comportamento dei materiali e nei test meccanici multipli di questo come kilopascal (kPa) o megapascal (MPa).

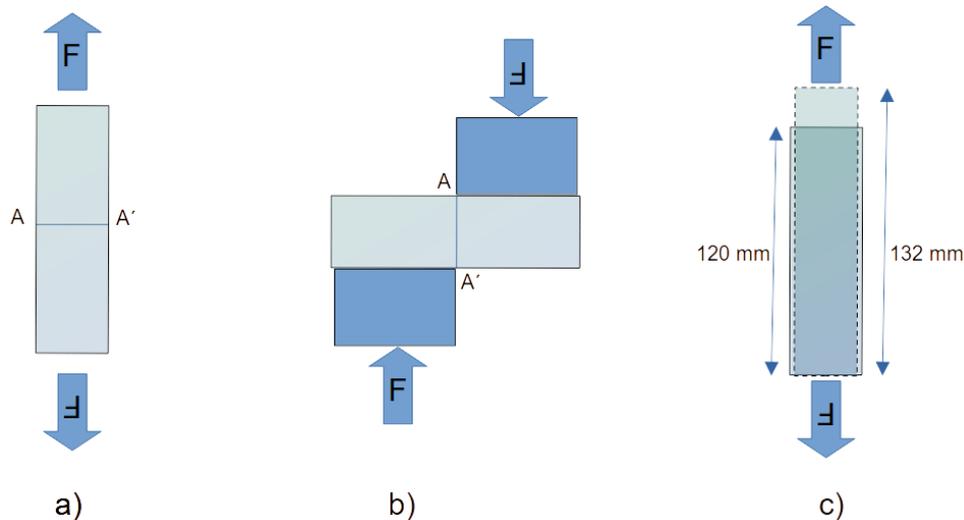


Figura1- Rappresentazione schematica delle sollecitazioni e delle deformazioni su una barra di materiale

Possiamo anche avere un diverso tipo di sollecitazione in cui la sezione trasversale resistente è parallela alla forza come esemplificato nella Figura 1b), questa è chiamata sollecitazione di taglio e rappresentata dalla lettera greca tau (τ). Nella Figura 1b) se la barra ha la stessa sezione trasversale di 100 m^2 e la forza è anch'essa di 20 kN , anche lo sforzo di taglio nella sezione AA' sarà di 200 MPa .

La deformazione è definita come l'allungamento del pezzo (aumento o diminuzione della lunghezza) diviso per la lunghezza originale del pezzo, spesso espressa in percentuale, e rappresentata dalla lettera greca epsilon (ϵ). Nell'esempio della Figura 1c), se la lunghezza iniziale della barra è $120 \text{ mm} = 0.12 \text{ m}$ e la lunghezza finale sotto una forza di trazione F è $132 \text{ mm} = 0.132 \text{ m}$ allora la deformazione è:

$$\frac{0.132 - 0.120}{0.120} = 0.1 \text{ m/m}$$

O moltiplicando per 100 per convertire in una percentuale $0,1 \times 100\% = 10\%$

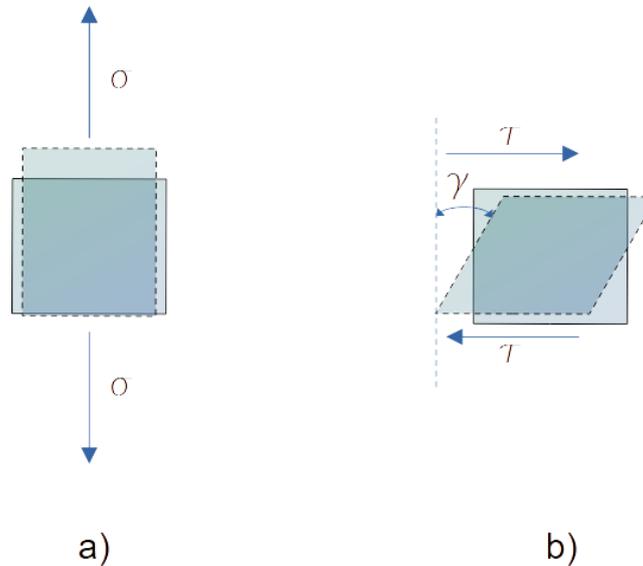


Figura2- Rappresentazione schematica delle deformazioni dirette e di taglio

Allo stesso modo anche le sollecitazioni di taglio causeranno una deformazione, solitamente indicata dalla lettera greca gamma (γ), sebbene questa deformazione sia più difficile da visualizzare. Mentre le sollecitazioni normali provocano solo un allungamento di una forma particolare, le sollecitazioni di taglio provocano una distorsione della forma originale come esemplificato nella Figura 2b), dove un quadrato diventa un rombo. Fisicamente la deformazione di taglio è l'angolo di distorsione mostrato in Figura 2b).

È esperienza comune che alcuni materiali, come ad esempio la gomma, possono essere allungati a una lunghezza maggiore applicando una forza ma quando rilasciati il materiale recupera la sua lunghezza originale, mentre altri materiali, ad esempio un filo di rame, quando piegati o allungati manterranno la forma/lunghezza deformata dopo il rilascio. Il primo comportamento è chiamato deformazione/deformazione elastica mentre il secondo è definito deformazione/deformazione plastica. Infatti, la maggior parte dei materiali, e in particolare le leghe metalliche, presentano entrambi i comportamenti. Sono elastici fino a un certo livello di sollecitazione e successivamente diventano plastici e fino alla sollecitazione in cui si fratturano. La sollecitazione alla quale il comportamento cambia da elastico a plastico è detta sollecitazione di snervamento e la sollecitazione alla quale si verifica il cedimento sollecitazione di frattura o resistenza alla trazione. La conoscenza di queste sollecitazioni è molto importante per un uso affidabile dei materiali e dei processi tecnologici come la saldatura. La prova di trazione che verrà presentata in dettaglio nella Sezione 2 ci consente di determinare con precisione queste importanti proprietà.

I materiali che presentano il comportamento di cui sopra, con una notevole deformazione plastica prima del cedimento, sono definiti materiali duttili. Ci sono altri materiali, esempi classici sono la ceramica e i vetri, che si fratturano quando sono ancora in regime elastico o a piccolissima deformazione plastica, questi sono detti materiali fragili. Fragile non significa necessariamente “più debole” nel senso comune del termine, infatti molti materiali ad alta resistenza come gli acciai per utensili o gli acciai ad alta velocità (spesso usati per realizzare utensili per tagliare o lavorare altri materiali) mostrano questo comportamento. La differenza principale sta nell'energia richiesta (o assorbita) per fratturare il materiale. Poiché la deformazione elastica è molto piccola rispetto a quella plastica, anche l'energia assorbita nella frattura di materiali fragili è piccola nonostante

il loro maggiore stress da frattura. Pur avendo una sollecitazione di frattura inferiore, i materiali duttili assorbiranno più energia per fratturarsi a causa della deformazione plastica molto maggiore.

Questo ci ha portato a un altro concetto, o proprietà meccanica, chiamato tenacità. Un materiale ad alta tenacità è un materiale che assorbe un elevato valore di energia per fratturarsi. Questo non significa che i materiali ad alta tenacità siano migliori di quelli a bassa tenacità, dipende dall'applicazione per cui vogliamo utilizzarli. Se martelliamo un pezzo di acciaio da costruzione si piegherà e si ammaccherà ma non si romperà, d'altra parte se facciamo lo stesso con una punta da trapano, realizzata in acciaio ad alta resistenza, potrebbe rompersi facilmente o addirittura frantumarsi in più pezzi. Una punta da trapano in acciaio da costruzione si consumerebbe e perderebbe i suoi taglienti molto velocemente mentre un ponte in acciaio ad alta resistenza, oltre al costo molto elevato, sarebbe molto sensibile agli urti e ai difetti che potrebbero svilupparsi in servizio, e potrebbe crollare senza alcun avviso precedente.

La tenacità del materiale può essere derivata da un test di trazione, ma questo non è comune. Poiché questa proprietà è molto importante, soprattutto nei materiali da costruzione, sono stati proposti test specifici per determinarla. Il più utilizzato è il test di impatto Charpy V in cui un provino intagliato viene rotto da un impatto. Estruendo con cura il provino possiamo posizionare la tacca in una particolare regione del nostro materiale, per sondare una posizione specifica e non tutto il volume di esso. Un buon esempio è un giunto di saldatura Figura 3, in un giunto di saldatura possiamo distinguere almeno tre regioni:

- Metallo di base: materiale lontano dalla saldatura e non influenzato dal ciclo termico della saldatura.
- Metallo saldato: materiale che è stato fuso e solidificato nuovamente per unire le due parti.
- Zona termicamente alterata (HAZ) - regione adiacente al metallo saldato che, nonostante non fuso, è stato sottoposto a temperature molto elevate e ha subito modifiche strutturali a causa di ciò.

L'ultima regione è solitamente la più problematica perché l'effetto dissipatore di calore del resto del componente può causare elevate velocità di raffreddamento su questa regione della saldatura e di conseguenza la formazione di strutture o fasi dure. Come accennato in precedenza, le fasi dure sono solitamente fragili, il che potrebbe compromettere la resistenza meccanica del giunto saldato. Il test di impatto è molto utile e, quindi, molto spesso utilizzato per controllare le proprietà della ZTA e assicurarsi che la procedura di saldatura (o il saldatore) non causi questo problema. La Figura 3 mostra anche, schematicamente, il posizionamento di un provino di impatto per sondare le proprietà della

ZTA. Poiché la tacca è posizionata in questa regione, stiamo determinando le proprietà della ZTA e non quelle di tutto il giunto saldato.

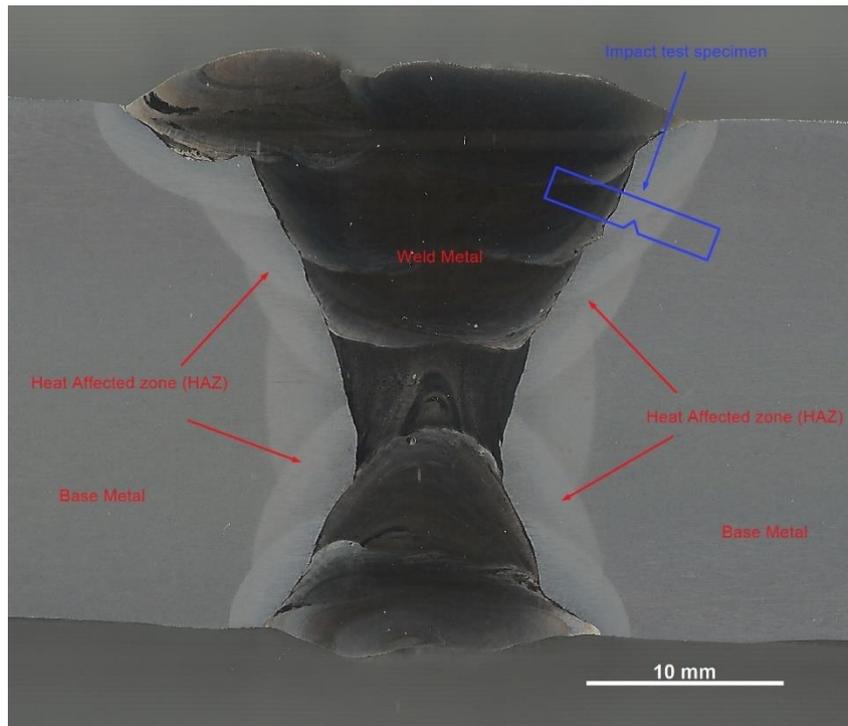


Figura3- Macrografia di un giunto di saldatura che mostra le diverse regioni una possibile posizione di un campione di impatto per testare la ZTA.

L'ultimo concetto o proprietà riguardante le proprietà meccaniche e le prove è la durezza. Questa è una proprietà molto importante sia di per sé ma anche per la sua relazione con altre proprietà del materiale. Nella nostra esperienza di vita quotidiana, abbiamo familiarità con il concetto di durezza, istintivamente si ha l'idea che, ad esempio, la gomma sia più morbida del metallo o del vetro. Tuttavia, per utilizzare questo in ingegneria abbiamo bisogno di un modo più quantitativo per definire e misurare questa proprietà. Il primo tentativo fu la scala di Mohs proposta per lo studio dei minerali. Questa scala è composta da dieci minerali a partire dal talco (il più tenero) e con durezza crescente fino al diamante (il più duro). Se un materiale è graffiato da uno dei minerali è più morbido di quel minerale se non è più duro. Sebbene sia ancora utilizzato in mineralogia, questa scala non è molto utile per valutare la durezza dei moderni materiali di ingegneria. Ha solo dieci gradi di durezza e la differenza tra questi gradi non è costante, quindi la discriminazione che possiamo ottenere tra materiali diversi è molto piccola. Le tecniche moderne per misurare la durezza di un materiale si basano su ciò che chiamiamo durezza di indentazione. In queste tecniche un punzone con una punta dura di una geometria standard viene premuto contro la superficie del materiale in prova con un carico standard e per un certo tempo. La durezza viene valutata dalla dimensione del segno lasciato sulla superficie, o dalla profondità che il punzone penetra nel materiale. In base a ciò, la durezza può essere definita come la resistenza del materiale alla deformazione plastica. Come per le prove di impatto, le prove di durezza, oltre a testare i materiali in generale,

millimetro, quindi, possono sondare particolari regioni di materiale nel giunto saldato, la Figura 4 mostra le rientranze di durezza nelle diverse regioni di un giunto saldato. Poiché la durezza è correlata alla capacità del materiale di deformarsi plasticamente, non è indipendente da altre proprietà del materiale che abbiamo discusso in precedenza. Pertanto, come regola empirica, un materiale duro sarà fragile e mostrerà un'elevata resistenza e una bassa tenacità e viceversa un materiale più morbido sarà duttile e mostrerà una bassa resistenza e un'elevata tenacità.

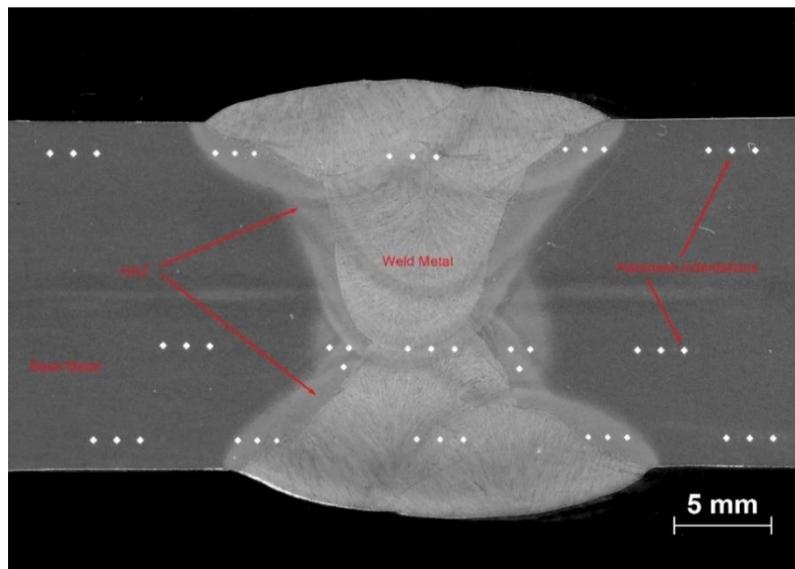


Figura4- Rientri di durezza in un giunto saldato.

1.1.1. Problemi di sicurezza

I test meccanici non sono, in generale, particolarmente pericolosi, tuttavia, con la maggior parte del lavoro di laboratorio, potrebbero verificarsi gravi lesioni e danni se le operazioni di test richieste non vengono eseguite secondo le procedure appropriate e la dovuta attenzione.

I rischi e i problemi di sicurezza relativi alle prove meccaniche possono essere ampiamente suddivisi in tre classi, apparecchiature di prova, operatore, ambiente. Questi diversi aspetti non sono indipendenti l'uno dall'altro e sono spesso correlati.

- Sicurezza delle apparecchiature di prova – Il corretto funzionamento delle apparecchiature di prova è un requisito fondamentale per garantire la sicurezza del laboratorio di prova. Pertanto, l'operatore deve avere una formazione adeguata sul funzionamento delle apparecchiature, i loro principi di funzionamento e progettazione (svilupperemo questo argomento in modo più dettagliato nella Sezione 1.2). Un uso improprio delle apparecchiature di prova può anche causare danni ai provini stessi con conseguente bassa qualità e affidabilità dei risultati



delle prove ottenuti. Tutte le apparecchiature devono essere installate e controllate in accordo

rispettando le istruzioni del produttore e con, ad esempio, un'adeguata alimentazione elettrica, ventilazione e spazio per operare in sicurezza. Il laboratorio deve inoltre disporre di procedure adeguate per la manutenzione e la verifica delle apparecchiature di prova. L'installazione/il funzionamento improprio dell'apparecchiatura potrebbe potenziare tutti gli altri rischi.

- Sicurezza dell'operatore: gli operatori spesso devono manipolare parti pesanti per eseguire la configurazione dell'apparecchiatura, come pezzi di prova pesanti e/o maschere di prova, l'uso di calzature di protezione adeguate dovrebbe essere altamente raccomandato o addirittura obbligatorio. Allo stesso modo, è altamente raccomandato anche l'uso di guanti di protezione meccanica, molti provini potrebbero avere bordi taglienti o schegge residue dalle operazioni di lavorazione che potrebbero causare tagli e contusioni. Tuttavia, durante l'impostazione del test è spesso necessario effettuare alcune misurazioni utilizzando calibri o vernier che possono essere difficili da eseguire con guanti pesanti, quindi dovrebbero essere disponibili anche guanti più sottili come quelli in lattice. Alcuni test, in particolare test su materiali fragili o composti, potrebbero frantumarsi in più pezzi o proiettare microfibre, è inoltre altamente raccomandato l'uso di una protezione per gli occhi o per il viso. Questo tipo di protezione potrebbe anche essere richiesto durante l'esecuzione di test di impatto a temperature inferiori a quella ambiente. Queste temperature vengono solitamente raggiunte con bagni criogenici o azoto liquido che potrebbero fuoriuscire causando ustioni o danni agli occhi. I prodotti chimici pericolosi o aggressivi non sono comuni in un laboratorio di test meccanici, ma a volte potrebbero essere necessarie alcune soluzioni a base acida, oltre a prodotti sgrassanti che potrebbero essere irritanti a contatto con la pelle. Quando necessario, dovrebbero essere disponibili anche guanti in lattice o simili. ma a volte potrebbero essere necessarie alcune soluzioni a base acida, così come prodotti sgrassanti che potrebbero essere irritanti a contatto con la pelle. Quando necessario, dovrebbero essere disponibili anche guanti in lattice o simili. ma a volte potrebbero essere necessarie alcune soluzioni a base acida, così come prodotti sgrassanti che potrebbero essere irritanti a contatto con la pelle. Quando necessario, dovrebbero essere disponibili anche guanti in lattice o simili.
- Sicurezza ambientale – Come accennato in precedenza un laboratorio di prove meccaniche non funzionerà, in generale, con materiali particolarmente pericolosi. Tuttavia, potrebbe essere necessario maneggiare alcuni prodotti chimici e specialmente, nel caso in cui il laboratorio utilizzi apparecchiature idrauliche, potrebbe essere necessario smaltire periodicamente grandi quantità di olio idraulico. Queste sostanze possono rappresentare potenziali pericoli



sia per il personale di laboratorio che per l'ambiente. Il personale dovrebbe avere una formazione adeguata su come maneggiare e conservare questi materiali, mentre il laboratorio dovrebbe disporre di procedure appropriate per smaltire tali sostanze, di solito affidando a un'azienda specializzata il compito di riciclarle o distruggerle adeguatamente.

1.2. Progettazione di macchinari e attrezzature per prove distruttive

Per eseguire un controllo meccanico o distruttivo abbiamo sempre bisogno di un'apparecchiatura con una parte mobile per applicare i carichi richiesti e una parte fissa per sostenere o trattenere il pezzo in prova. Quest'ultimo deve, ovviamente, essere in grado di resistere ai carichi applicati senza deformazioni apprezzabili. Discuteremo di seguito i principali principi di progettazione e le caratteristiche di tre tipi di apparecchiature che sono rappresentative della maggior parte delle situazioni relative alle prove meccaniche:

- Macchine a trazione - carico di trazione applicato progressivamente fino alla rottura.
- Macchine ad impatto: carico applicato istantaneamente da un impatto.
- Durometri - carico di compressione applicato progressivamente.

Le macchine per prove di trazione sono probabilmente le attrezzature per prove meccaniche più utilizzate, nonostante il nome possono essere utilizzate anche per molti altri tipi di prove meccaniche, infatti a volte vengono chiamate macchine di prova universali. Queste macchine possono essere sostanzialmente suddivise in due tipologie elettromeccaniche, in cui la forza è applicata da un motore elettrico, e servoidrauliche, in cui la forza è generata da un martinetto idraulico o attuatore. Nonostante le differenze inerenti al metodo di guida specifico di ciascun tipo di macchina, il design di base è simile. Abbiamo bisogno di un telaio di carico per consentire l'applicazione della forza al provino, alcuni mezzi per afferrare il provino nel telaio di carico e sensori per acquisire i dati di prova di cui abbiamo bisogno.

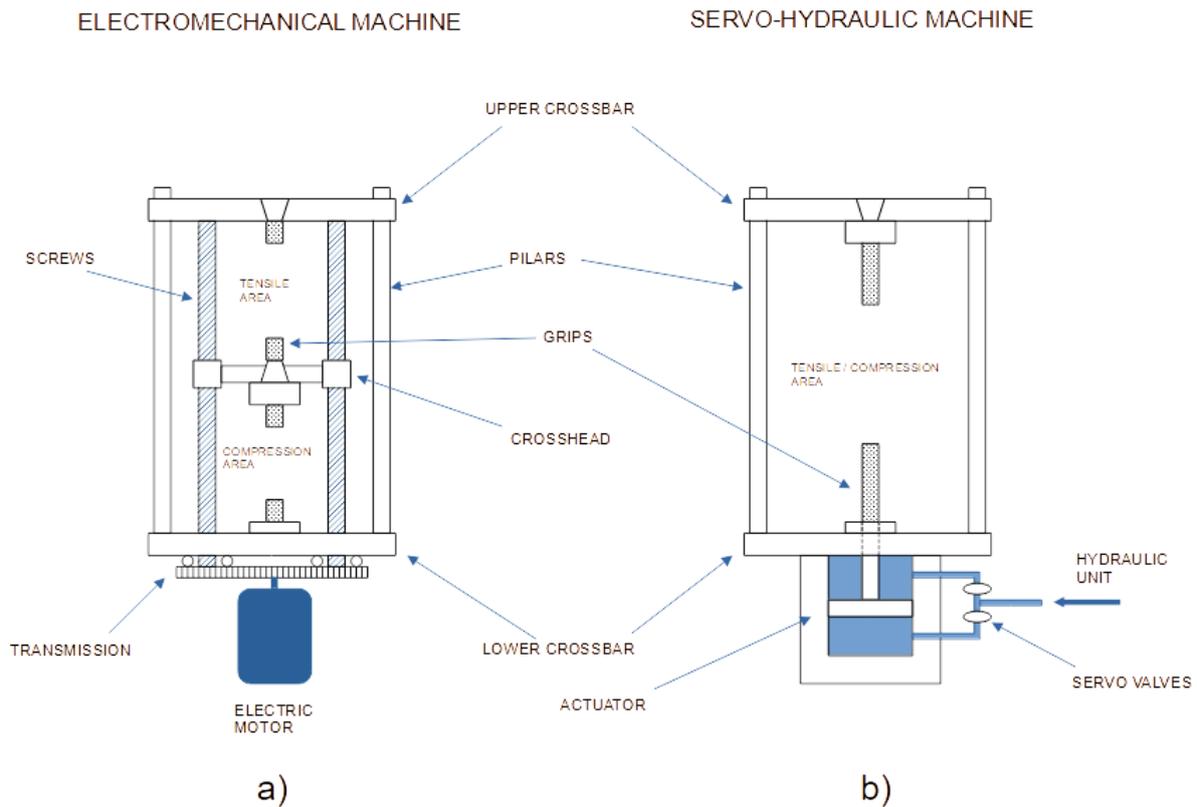
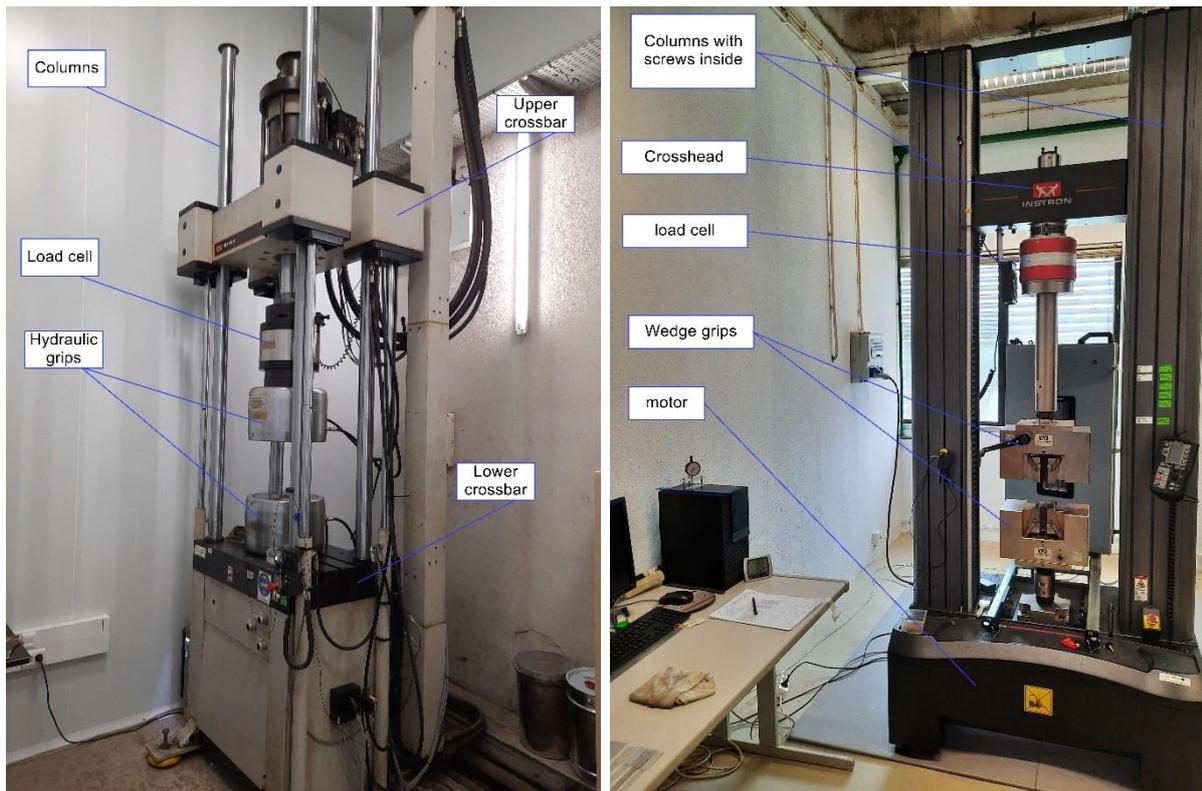


Figura5- Rappresentazione schematica dei progetti principali delle macchine per prove di trazione.

Le macchine elettromeccaniche sono costituite fondamentalmente da due colonne verticali in acciaio, parallele tra loro e collegate in alto e in basso da traverse rigide e statiche, Figura 5a) (alcune macchine di grande capacità potrebbero avere una configurazione orizzontale ma questo non è comune). Parallele alle barre verticali sono presenti due barre filettate, o viti, che possono ruotare azionate da un motore elettrico posto solitamente sotto il telaio di carico della macchina. Queste viti possono comandare il movimento di una traversa mobile, solitamente chiamata traversa. Questa configurazione della macchina può avere un'unica area di prova in cui il provino viene afferrato tra la traversa e una delle traverse, o due aree di prova una sotto la traversa, solitamente per prove di compressione, flessione e simili che comportano carichi di compressione, e un'altra area di prova sopra la traversa specifica per le prove di trazione. Questa è la configurazione rappresentata in Figura 5a), mentre in Figura 6b) è mostrata una macchina con un'unica area di prova.



a)b)

Figura6- Macchine per prove meccaniche; a) idraulico a quattro colonne munito anche di pinze idrauliche; b) elettromeccanici dotati di impugnature manuali del tipo a cuneo.

Le macchine di prova idrauliche hanno un telaio di carico simile all'attrezzatura elettromeccanica, ma hanno un attuatore idraulico sulla traversa superiore o inferiore per applicare il carico, Figura 5b). A differenza delle macchine EM dove la configurazione a due colonne è più comune, le macchine idrauliche, specialmente quelle di grande capacità, hanno spesso quattro colonne, Figura 6a). Sebbene i progetti più vecchi di questo tipo di macchine potrebbero avere anche due aree di prova nei tempi moderni, la configurazione con un'unica area di prova è più comune, Figura 5a) e Figura 6a).

Per eseguire i test le macchine di prova devono avere nella loro progettazione alcune altre parti o accessori che sono comuni a tutte le macchine indipendentemente dal tipo di sistema di azionamento. Tutti i progetti di macchine devono incorporare un sistema per afferrare il provino nella macchina e questo sistema deve essere sufficientemente robusto da supportare i carichi di prova richiesti. Poiché le prove meccaniche si basano sull'applicazione del carico al provino, il progetto della macchina deve includere anche un sensore per misurare il carico applicato durante la prova. In passato sono stati utilizzati diversi sistemi, ma nei progetti moderni questo sensore è una cella di carico integrata nel treno di carico della macchina.

La figura 7 mostra schematicamente alcuni dei modelli di presa più comuni. Si tratta solitamente di sistemi idraulici (Figura 8b) o meccanici (Figura 8a). Il primo è più flessibile poiché la forza di presa può essere adattata al particolare test che si sta eseguendo. Quelle meccaniche sono costituite da due cunei seghettati (a volte indicati come impugnature a cuneo) che scorrono su una superficie fissa inclinata. A condizione che non vi sia slittamento del provino, la forza di presa aumenta con il carico di trazione.

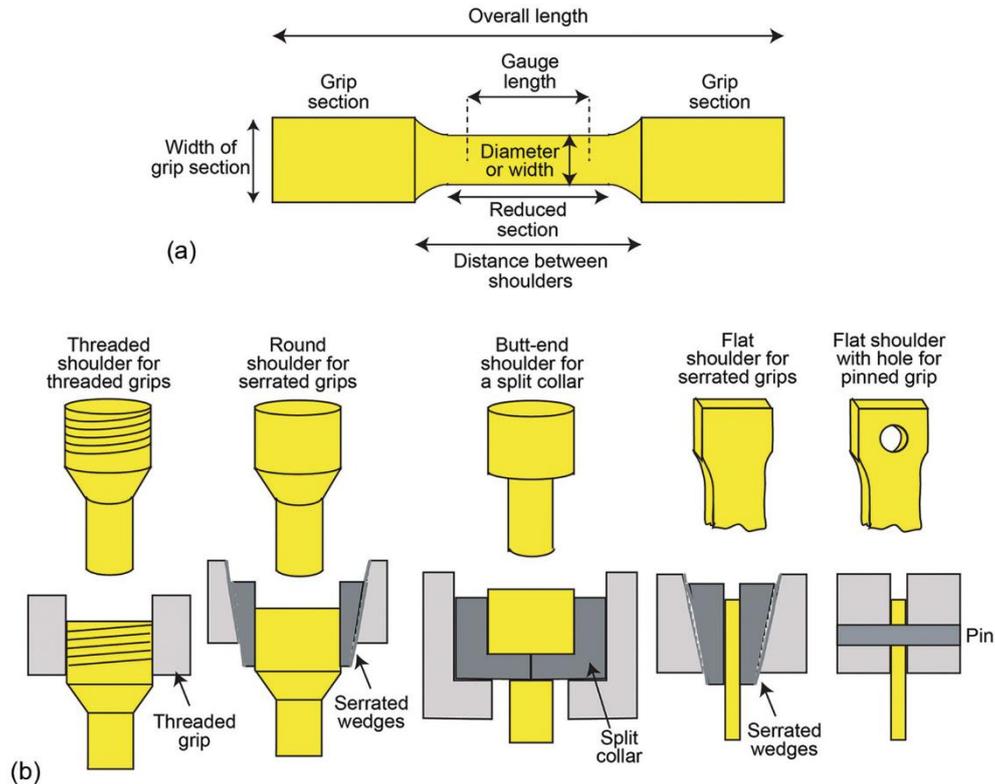
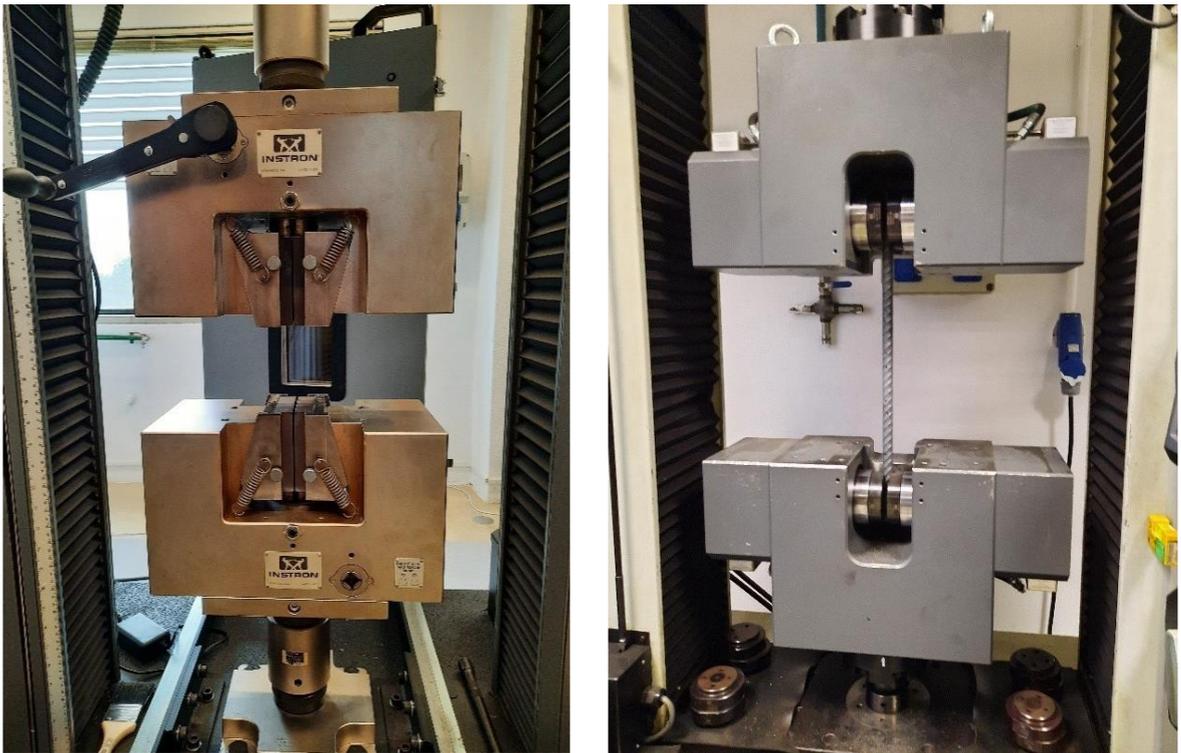


Figura7- Diversi metodi di presa dei provini. https://static.cambridge.org/binary/version/id/urn:cambridge.org:id:binary:20210415111914621-0122:9781108943369:83789fig5_1.png?pub-status=live; consultato il 15-03-23

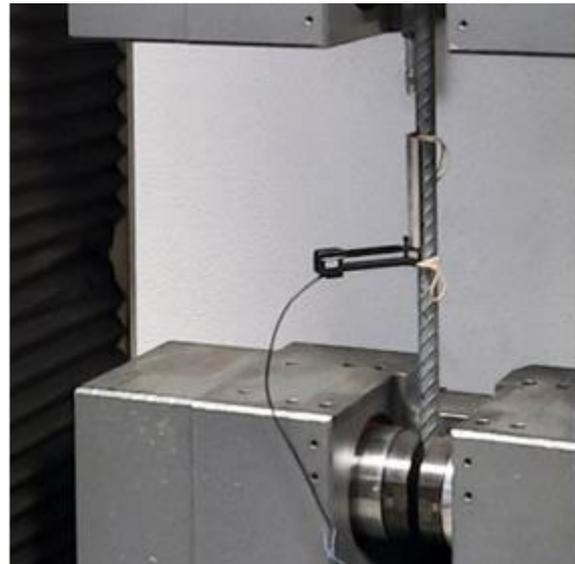


a) B)

Figura8- Due esempi di prese di macchine di prova meccanica; a) tipo a cuneo meccanico; b) idraulico.

Infine, tutti i moderni design delle macchine incorporano un trasduttore di carico per monitorare i carichi applicati al provino durante la prova. In passato sono stati utilizzati diversi tipi di trasduttori, ma i progetti moderni si basano su una cella di carico all'interno del treno di carico della macchina, fissata alla traversa fissa o alla traversa/pistone mobile, Figura 6. Le moderne macchine di prova includono anche un trasduttore di spostamento collegato alla traversa o al pistone idraulico per monitorarne la posizione e il movimento durante il setup e la prova stessa.

Per eseguire molte prove meccaniche (ed in particolare prove di trazione) il sensore di spostamento macchina non è sufficientemente preciso in quanto misura anche la deformazione della macchina stessa. Sebbene non faccia parte del progetto della macchina, è necessario un trasduttore aggiuntivo per eseguire test accurati. Si tratta di un estensimetro, che ci consente di misurare l'effettiva deformazione o deformazione del provino stesso. Nei tempi moderni sono disponibili diversi tipi tra cui il laser senza contatto e la correlazione di immagini video, ma il più comune è un sistema meccanico costituito da due bracci con bordi taglienti, fissati al corpo del campione con clip, molle o persino corde elastiche. La Figura 9 mostra esempi di questi estensimetri meccanici, uno dei quali fissato a un provino di armatura durante una prova.



a) B)

Figura9- Due esempi di estensimetri a contatto meccanico. In b) l'estensimetro è fissato a un'armatura con corde elastiche durante una prova.

I test di impatto vengono solitamente eseguiti in macchine che si basano sulla gravità per applicare l'impatto sul provino. Il design più comune è la configurazione pendolare inizialmente proposta all'inizio del XX secolo e utilizzata ancora oggi. Questo design è costituito da una base molto pesante (di solito una lastra di cemento e pesanti lastre di acciaio). Su questa base sono installati pilastri verticali per sostenere un braccio oscillante con un pesante martello all'estremità. Il campione è sostenuto da un'incudine sul fondo della macchina, nel percorso del martello e in una posizione in cui la tacca è allineata con il bordo di battuta del martello. Quando il pendolo viene rilasciato senza alcun campione nella macchina, oscillerà completamente dall'altra parte e si solleverà alla stessa altezza da cui è stato rilasciato; se ora un campione è nella macchina, il movimento del pendolo sarà ritardato quando colpisce il campione e si solleverà a un'altezza inferiore. La differenza di energia potenziale corrispondente alla differenza di altezza è l'energia assorbita per fratturare il provino. La figura 10 mostra schematicamente il principio di funzionamento di questa macchina. Questo design è rimasto sostanzialmente invariato da quando è stato proposto per la prima volta il test di impatto. I principali sviluppi hanno riguardato la modalità di funzionamento e la lettura dell'energia. I modelli più vecchi erano azionati manualmente utilizzando un braccio ausiliario azionato da un albero a gomiti per sollevare il pendolo all'altezza di lancio e la lettura dell'energia avveniva tramite un quadrante con due lancette, uno rotante insieme al pendolo che trascinava l'altro; quando il pendolo raggiunge la sua massima altezza dopo l'urto e ricade l'ago trascinato rimane sulla posizione massima indicando l'energia. Le

macchine moderne sono generalmente controllate da computer con bracci di posizionamento completamente automatici e lettura digitale dell'energia. La figura 11 mostra sia un vecchio modello che uno moderno.

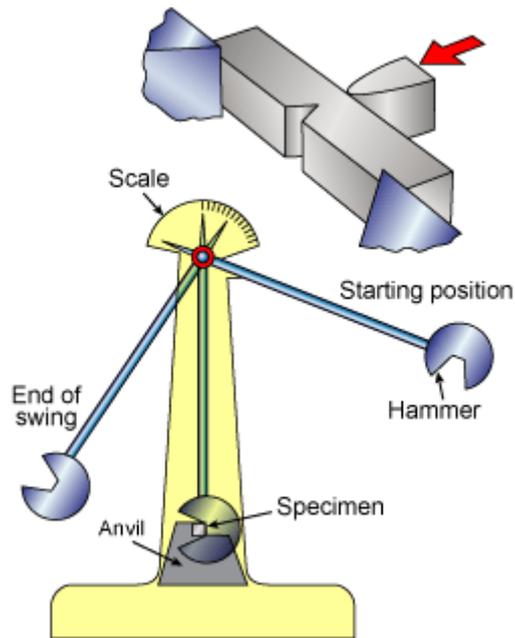


Figura10- Rappresentazione schematica di un pendolo di prova d'urto e di un provino nella posizione di prova. <https://www.twi-global.com/images/00022/9757.gif>; consultato il 28-03-2023



a)

B)



Figura11- Esempi di pendoli per prove d'urto; a) moderne apparecchiature informatiche, completamente chiuse per sicurezza; b) vecchie attrezzature manuali con protezione solo parziale.

Con la prova d'urto le moderne tecniche di prova di durezza iniziano a essere sviluppate alla fine del XIX e all'inizio del XX secolo e il design di base della macchina rimane sostanzialmente invariato fino ai giorni nostri. Importanti sviluppi in corso nel controllo e nella misurazione dei test che oggi sono spesso completamente automatici e computerizzati, sebbene il manuale continui ad essere utilizzato spesso. Le caratteristiche principali di questo tipo di apparecchiatura sono una piattaforma solida e

rigida per sostenere il provino in prova (questa piattaforma è solitamente dotata di un sistema di sollevamento a vite per adeguare l'altezza alla dimensione del provino); un pugno con una certa geometria (come una sfera, un cono o una piramide); un sistema di caricamento per premere il punzone contro la superficie del provino e un piccolo microscopio che può essere intercambiato con il punzone e permette di scegliere il punto giusto prima del test e di misurare la dimensione dell'impronta lasciata sulla superficie dopo il test. Tra le varie tecniche utilizzate al giorno d'oggi per misurare la durezza, una si basa sulla profondità con cui il punzone penetra nella superficie del materiale e non sulla dimensione del segno lasciato su di esso, ma i restanti principi si applicano ancora, ed è comune che una sola macchina possa eseguire molte di queste tecniche. La Figura 10 mostra uno schema della macchina per prove di durezza, mentre la Figura 13 mostra sia un modello completamente manuale che uno moderno completamente automatico. ci si basa sulla profondità con cui il punzone penetra nella superficie del materiale e non sulla dimensione del segno lasciato su di esso, ma i restanti principi si applicano ancora ed è comune che una macchina possa eseguire diverse di queste tecniche. La Figura 10 mostra uno schema della macchina per prove di durezza, mentre la Figura 13 mostra sia un modello completamente manuale che uno moderno completamente automatico. ci si basa sulla profondità con cui il punzone penetra nella superficie del materiale e non sulla dimensione del segno lasciato su di esso, ma i restanti principi si applicano ancora ed è comune che una macchina possa eseguire diverse di queste tecniche. La Figura 10 mostra uno schema della macchina per prove di durezza, mentre la Figura 13 mostra sia un modello completamente manuale che uno moderno completamente automatico.

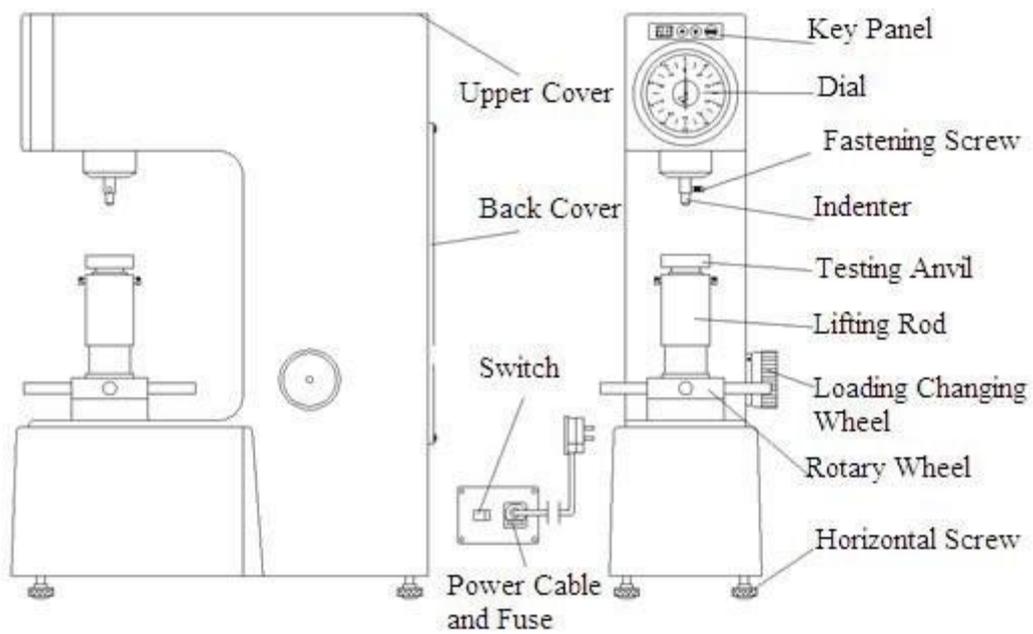
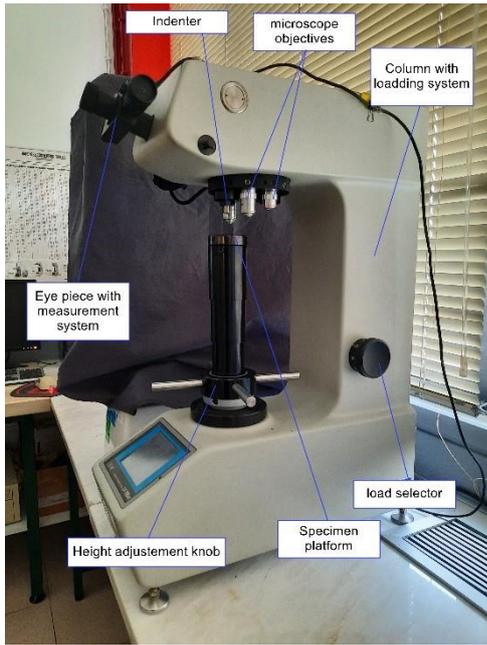
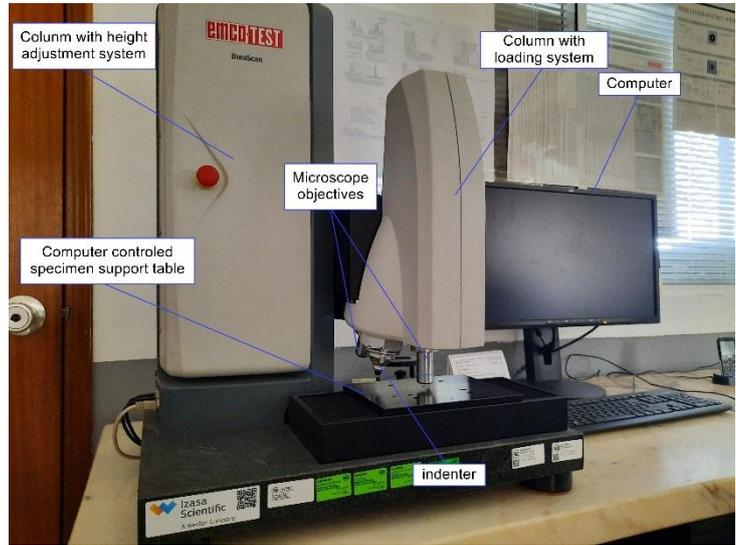


Figura12- Rappresentazione schematica di una macchina per prove di durezza (durometro). https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-Vickers-Hardness-Test-7_fig5_338430669; consultato il 20-03-



a)



b)

Figura13- Esempi di durometri a) apparecchiature ad azionamento manuale; e b) apparecchiature completamente automatiche (informatizzate).

2. Prove Meccaniche (Prove di Trazione, Prova di Piegatura, Prova di Resilienza Charpy, Prova di Frattura, Prova di Durezza)

2.1. Prove di trazione dei metalli a temperatura ambiente

2.1.1.1. introduzione

La prova di trazione è il tipo base di prova per i metalli con applicazioni ingegneristiche e consente di determinare le proprietà di base dei materiali. Il test prevede lo stiramento assiale di provini di una forma specifica nelle morse di una macchina di prova. I provini utilizzati per la prova possono essere suddivisi in una parte di trazione e una parte di presa. Nei provini utilizzati per questa prova è presente una sezione di misura per la prova di trazione e una sezione di presa per la presa e il trasferimento del carico. impugnature e per il trasferimento del carico. Generalmente, per le prove di trazione vengono utilizzati provini cilindrici o piatti.

La prova di trazione viene eseguita spostando una delle ganasce a una velocità costante o a un tasso costante di accumulo del carico. Durante la prova viene registrata la dipendenza dell'aumento della lunghezza del calibro dalla forza di trazione e al termine della prova di trazione vengono determinate le proprietà di resistenza. La forma del grafico risultante dipende dal tipo e dalle condizioni del materiale in prova. Per acciai a basso tenore di carbonio e metalli ad alta duttilità si ottengono generalmente grafici con limite di snervamento pronunciato, mentre per materiali ad alta resistenza senza limite di snervamento pronunciato. Dal momento in cui viene applicato il carico, l'allungamento del provino aumenta in modo direttamente proporzionale alla forza di carico fino al raggiungimento del cosiddetto punto di snervamento (limite elastico). Superato il limite proporzionale, si osserva un netto aumento dell'allungamento del provino a livello costante o fluttuante del provino a un livello costante o fluttuante della forza di carico. Ciò corrisponde alla resistenza allo snervamento resistenza allo snervamento R_e . Con un ulteriore aumento dell'allungamento, si ha un aumento della forza, ma non più in modo proporzionale all'intervallo di deformazione elastica. Quando viene raggiunta la forza massima - F_m - si sviluppa un restringimento locale del campione, chiamato collo. Questa è la causa della lenta diminuzione della forza. Al termine della prova, il provino si rompe. Dopo la rottura del provino, la lunghezza del tratto utile e le dimensioni della strizione locale. si ha un aumento della forza, ma non più in maniera proporzionale al campo di deformazione elastica. Quando viene raggiunta la forza massima - F_m - si sviluppa un restringimento locale del campione, chiamato collo. Questa è la causa della lenta diminuzione della forza. Al termine della prova, il provino si rompe. Dopo la rottura del provino, la lunghezza del tratto utile e le dimensioni della strizione locale. si ha un aumento della forza, ma non più in maniera proporzionale al campo di deformazione elastica. Quando viene raggiunta la forza massima - F_m - si sviluppa un restringimento locale del campione, chiamato collo.

Questa è la causa della lenta diminuzione della forza. Al termine della prova, il provino si rompe. Dopo la rottura del provino, la lunghezza del tratto utile e le dimensioni della strizione locale.

2.1.1.2. Descrizione della procedura di prova di trazione

Lo scopo della procedura è garantire che la prova di trazione dei metalli sia eseguita correttamente. La procedura specifica il metodo per la prova di trazione dei materiali metallici e definisce le proprietà meccaniche che possono essere determinate a temperatura ambiente.

La procedura è stata scritta sulla base della norma EN ISO 6892-1.

2.1.1.2.1. Principio

Il test consiste nel sollecitare il provino utilizzando una forza di trazione, solitamente a frattura, per determinare le proprietà meccaniche come:

- **Allungamento percentuale dopo frattura – A**

Allungamento permanente del tratto utile dopo la frattura espresso come percentuale del tratto utile originario

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

Dove

L_u - lunghezza utile finale dopo la frattura,

L_0 – lunghezza utile originale.

Per la determinazione manuale dell'allungamento dopo la frattura A, ciascuna estremità del tratto utile originale L_0 deve essere contrassegnata mediante segni fini, linee incise o segni di punzonatura, ma non con segni che potrebbero provocare una rottura prematura. Il tratto utile originale deve essere contrassegnato con una precisione di ± 1 %.

Per le provette proporzionali, il valore calcolato della lunghezza utile originale può essere arrotondato al multiplo più vicino di 5 mm, a condizione che la differenza tra la lunghezza utile calcolata e quella segnata sia inferiore al 10 % di L_0 .

Se la lunghezza parallela L_c , è molto maggiore della lunghezza utile originale, come per esempio con provini non lavorati, può essere marcata una serie di lunghezze utili sovrapposte.

In alcuni casi può essere utile tracciare una linea parallela all'asse longitudinale, lungo la quale sono segnati i tratti utili.

- **Estensione totale percentuale alla massima forza - A_{gt}**

Estensione totale (elastico più estensione plastica) alla massima forza, espressa come percentuale della lunghezza utile dell'estensimetro L_e (lunghezza utile iniziale dell'estensimetro utilizzato per la misurazione dell'estensione).

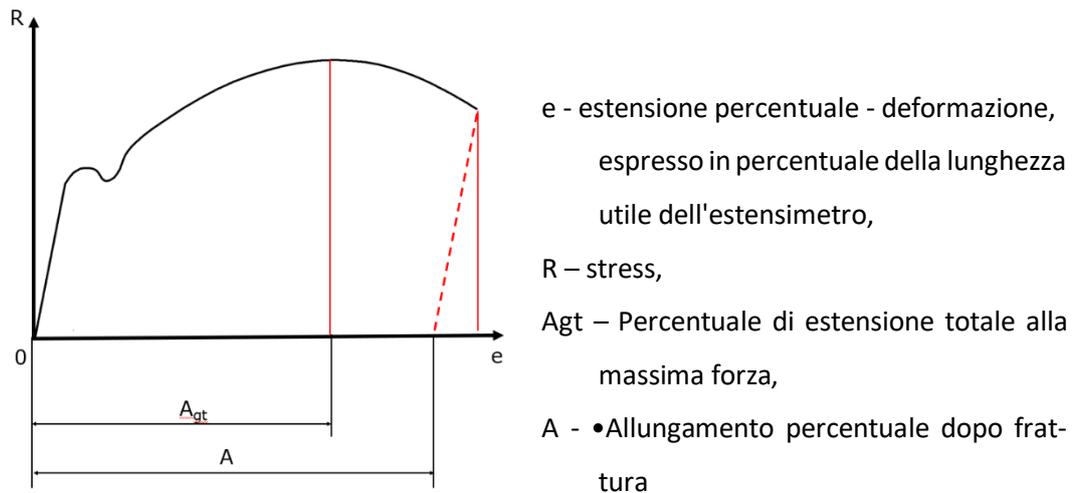


Figura14: Esempi di estensione [1].

- **Percentuale di riduzione dell'area – Z**

Variatione massima dell'area della sezione trasversale che si è verificata durante la prova, espressa come percentuale dell'area della sezione trasversale originale.

$$Z = \frac{Z_0 - Z_u}{Z_0} \cdot 100\%$$

Dove

Su - area della sezione trasversale minima dopo la frattura,

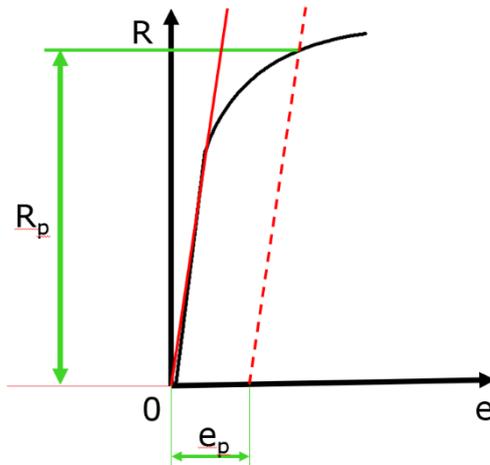
S0 – area della sezione trasversale originale della lunghezza parallela.

- **Forza di prova, estensione in plastica, Rp**

Sollecitazione alla quale l'estensione plastica è uguale a una percentuale specificata della lunghezza utile dell'estensimetro.

Al pedice viene aggiunto un suffisso per indicare la percentuale prescritta, ad esempio Rp0,2

Per la determinazione di Rp è obbligatorio l'uso dell'estensimetro



e - estensione percentuale - deformazione, espresso in percentuale della lunghezza utile dell'estensimetro,
 e_p - estensione plastica percentuale specificata,
 R - stress,
 R_p - resistenza alla prova, estensione in plastica

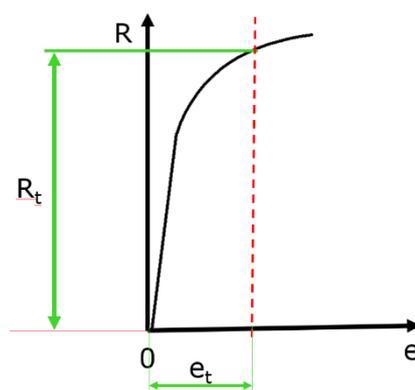
Figura15: Resistenza alla prova, estensione plastica, R_p [1].

- **Forza di prova, estensione totale, R_t**

Sollecitazione alla quale l'estensione totale (estensione elastica più estensione plastica) è uguale a una percentuale specificata della lunghezza utile dell'estensimetro L_e .

Al pedice viene aggiunto un suffisso per indicare la percentuale prescritta, ad esempio $R_{t0,5}$

Per la determinazione di R_t è obbligatorio l'uso dell'estensimetro



e - estensione percentuale,
 e_t - estensione totale percentuale,
 R - stress,
 R_t - resistenza alla prova, estensione totale

Figura16: Forza di prova, estensione totale, R_t [1].

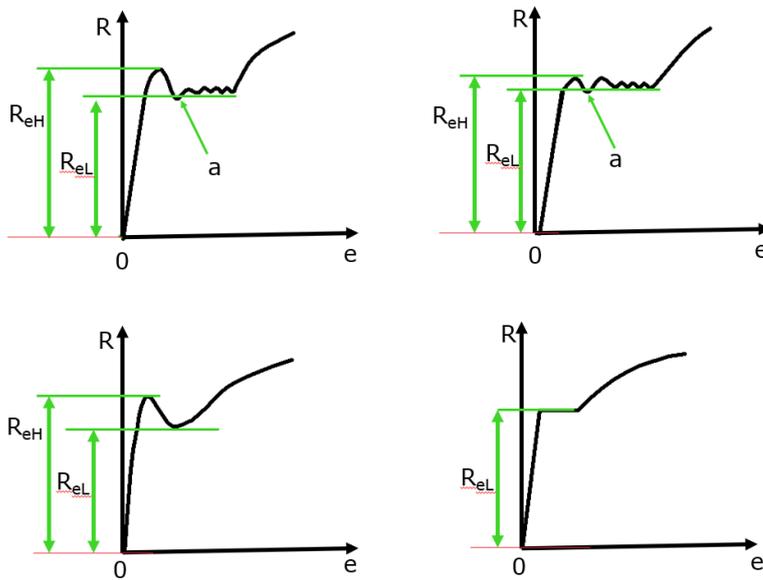
- **Resistenza allo snervamento, R_e**

Si verifica quando il materiale metallico presenta un fenomeno di snervamento, sollecitazione corrispondente al punto raggiunto durante la prova in cui avviene la deformazione plastica senza alcun aumento della forza.



- **Carico di snervamento superiore, ReH**
Valore massimo della sollecitazione prima della prima diminuzione della forza
- **Resistenza allo snervamento inferiore, ReL**

Valore minimo di sollecitazione durante lo snervamento plastico, ignorando eventuali effetti transitori iniziali.

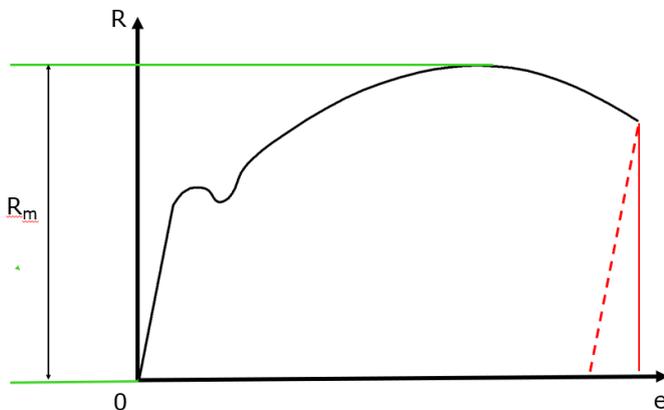


e – estensione percentuale,
 R – stress,
 ReH – carico di snervamento superiore,
 ReL: resistenza allo snervamento inferiore,
 a – effetto transitorio iniziale.

Figura17: Esempi di limiti di snervamento superiore e inferiore per diversi tipi di curve [1].

resistenza alla trazione, Rm
 Sforzo corrispondente alla forza massima

• Re-



e – estensione percentuale,
 R – stress,
 Rm – resistenza alla trazione,

Figura18: Esempio di resistenza alla trazione [1].

2.1.1.2.2. Pezzi di prova

a) Forma e dimensioni

La forma e le dimensioni dei pezzi possono essere vincolate dalla forma e dalle dimensioni del prodotto metallico da cui sono prelevati i pezzi di prova. Il campione per il test viene spesso preparato mediante lavorazione a macchina da un prodotto o semilavorato. È anche possibile testare componenti non lavorati (es. tubi, fili, barre ecc.).

Le sezioni trasversali dei campioni possono essere circolari, quadrate, rettangolari, anulari o in casi speciali altre forme.

I campioni di prova preferiti (provette proporzionali) dovrebbero avere una relazione definita tra la lunghezza utile originale, L_0 e l'area della sezione trasversale originale, S_0 secondo la formula:

$$L_0 = k \cdot \sqrt{S_0} \quad (3)$$

dove k – coefficiente di proporzionalità.

Il valore più comune è $k=5,65$. Nei casi in cui la lunghezza del calibro sarà inferiore a 15 mm, può essere preso un valore più alto di $k=11,3$ o può essere fatto un campione non proporzionale.

Nel caso di campioni non proporzionali, la lunghezza utile originale L_0 non dipende dall'area della sezione trasversale originale S_0 .

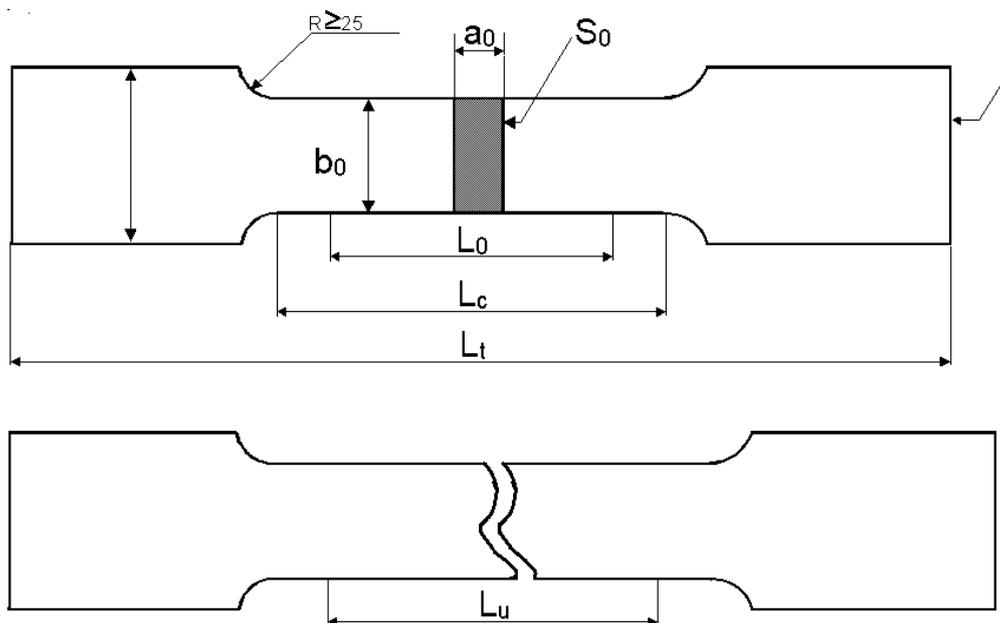
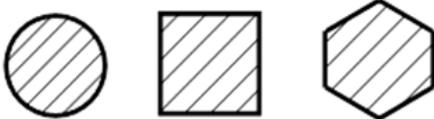


Figura19: Provino lavorato di sezione rettangolare [1].

- a_0 – spessore originale di un provino piatto o spessore della parete di un tubo
- b_0 – larghezza originale della lunghezza parallela di un provino piatto
- L_c – lunghezza parallela
- L_0 – lunghezza utile originale
- L_t – lunghezza totale del provino
- L_u – lunghezza utile finale dopo la frattura
- S_0 – area della sezione trasversale originale di lunghezza parallela
- 1 – estremità afferrate

ISO 6892-1 fornisce anche dimensioni campione che possono essere utilizzate per vari componenti. La tabella 1 riassume i principali tipi di provette in base al tipo di prodotto.

Tipo di prodotto		Tavolo
Lamiere - Lastre - Piani	Filo – Barre – Sezioni	
		
Spessore, mm	Diametro o lato Mm	
$0,1 \leq a < 3$	-	Tavolo 2
-	< 4	Tabella 3
$A \geq 3$	≥ 4	Tabella 4
Tubi		Tabella 5

Tavolo1: Principali tipi di provini in base al tipo di prodotto.

Tipo di pezzo di prova	Larghezza b0	Lunghezza del calibro originale L0	Lunghezza parallela Lc		Lunghezza libera tra le prese per provino a lati paralleli
			Minimo	Consigliato	
1	12,5±1	50	57	75	87,5
2	20±1	80	90	120	140
3	25±1	501	601	-	Non definito
Tolleranze sulla larghezza del provino					
Larghezza nominale del pezzo di prova			Tolleranza di lavorazione ²		Tolleranza sulla forma ³
12.5			±0,05		0.06
20			±0,10		0.12
25			±0,10		0.12
¹ Il rapporto L0/b0 di un provino di tipo 3 rispetto a uno di tipo 1 e 2 è molto basso. Di conseguenza, le proprietà, in particolare l'allungamento dopo la frattura, misurate con questo provino, saranno diverse da quelle di altri tipi di provino. ² Queste tolleranze sono applicabili alla larghezza nominale del provino e devono essere utilizzate nel calcolo dell'area della sezione trasversale originale S0, senza dover misurare la larghezza di ciascun provino. ³ Scostamento massimo tra le misure della larghezza lungo l'intera lunghezza parallela Lc, del provino					

Tavolo2: Dimensioni e tolleranze dei provini per prodotti sottili: lastre, strisce e piatti tra 0,1 mm e 3 mm di spessore.

1. La lunghezza utile originale, L_0 , deve essere assunta come: - 200 mm \pm 2 mm - 100 mm \pm 1 mm
2. La distanza tra le impugnature della macchina deve essere almeno pari a $L_0 + 3b_0$, ma minimo $L_0 + 20$ mm.
3. Se l'allungamento percentuale dopo la frattura non deve essere determinato, può essere utilizzata una distanza tra i morsetti di almeno 50 mm.
4. Determinare S_0 con una precisione di ± 1 % o migliore. Per i prodotti di sezione trasversale circolare, l'area della sezione trasversale originale può essere calcolata dalla media aritmetica di due misurazioni effettuate in due direzioni perpendicolari.
5. L'area della sezione trasversale originale, S_0 , in millimetri quadrati, può essere determinata dalla massa di una lunghezza nota e dalla sua densità: $S_0 = \frac{1000 \cdot m}{\rho \cdot L_t} \quad (4)$ m, massa, in grammi, del provino, ρ , è la densità, in grammi per centimetro cubo, del materiale del provino, L_t è la lunghezza totale, in millimetri, dei provini.

Tavolo3: Dimensioni e tolleranze dei provini per fili, barre e profilati con diametro o spessore inferiore a 4 mm.

<p>1. Il raggio minimo di transizione tra le estremità afferrate e il tratto parallelo deve essere:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 0.75d0 dove d0 è il diametro del tratto parallelo, per il provino cilindrico, - 0,12 mm per gli altri provini. 			
<p>2. La sezione trasversale del provino può essere: circolare, quadrata, rettangolare o di altra forma,</p>			
<p>3. Per i provini con sezione trasversale rettangolare, il rapporto larghezza/spessore non deve superare 8:1</p>			
<p>4. Il diametro del tratto parallelo del provino cilindrico lavorato non deve essere inferiore a 3 mm.</p>			
<p>5. La lunghezza parallela, Lc, deve essere almeno uguale a:</p> <p>$L_0 + \left(\frac{d_0}{2}\right)$ for cylindrical tes piece</p> <p>$L_0 + 1.5\sqrt{S_0}$ for proportional test pieces other than cylindrical tes pieces</p> <p>$L_0 + \left(\frac{b_0}{2}\right)$ for non – proportional tes pieces</p> <p>In caso di controversia, utilizzare la lunghezza L0+2d0 o L0+2 a seconda del tipo di provetta, a meno che non vi sia materiale insufficiente $\sqrt{S_0}$</p>			
<p>6. La lunghezza libera tra le impugnature della macchina deve essere adeguata affinché i segni siano di almeno una distanza di $\sqrt{S_0}$ dalle prese.</p>			
<p>7. Come regola generale, vengono utilizzati provini proporzionali dove L0 è correlato all'area della sezione trasversale originale S0, $L_0 = k\sqrt{S_0}$, dove k è pari a 5,65. In alternativa, 11,3 può essere utilizzato come valore k.</p>			
Provini a sezione circolare			
Coefficiente di proporzionalità, K	Diametro, D, mm	Lunghezza utile originale, $L_0 = k\sqrt{S_0}$, mm	Lunghezza parallela minima, Lc, mm
5.65	20	100	110
	14	70	77
	10	50	55
	5	25	28
Provini non proporzionali			
<p>Possono essere utilizzati provini non proporzionali se specificato dalla norma di prodotto.</p> <p style="text-align: center;">La lunghezza parallela, Lc, non dovrebbe essere minore di L0 + b0/2.</p> <p>In caso di controversia, si utilizza la lunghezza parallela Lc=L0 + 2b0 a meno che il materiale non sia sufficiente</p>			
Dimensioni tipiche del provino piatto			
Larghezza, b0, mm	Lunghezza utile originale, L0, mm	Lunghezza parallela minima Lc, mm	Lunghezza totale approssimativa Tenente, mm



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



40 ± 0,7	200	220	450
25 ± 0,7	200	212,5	450
20 ± 0,5	80	90	300



Tavolo4: Dimensioni e tolleranze dei provini per lamiere e piani di spessore uguale o superiore a 3 mm e fili, barre e profilati di diametro o spessore uguale o superiore a 4 mm.

1. La lunghezza del tubo può essere tappata su entrambe le estremità. La lunghezza libera tra ciascun tappo e le tacche più vicine deve essere maggiore di $D_0/4$. In caso di contestazione verrà utilizzato il valore D_0 , se il materiale è sufficiente.
2. La lunghezza del tappo sporgente oltre le impugnature della macchina in direzione dei segni di calibro non deve superare D_0 e la sua forma deve essere tale da non interferire con la deformazione del tratto di calibro.
3. La lunghezza parallela L_c , delle strisce longitudinali non deve essere appiattita, le teste possono essere appiattite per la presa nella macchina di prova
4. S_0 per il provino deve essere determinato con l'approssimazione di ± 1 % o migliore.
5. L'area della sezione trasversale originale, S_0 , in millimetri quadrati, della lunghezza del tubo o della striscia longitudinale o trasversale può essere determinata dalla massa del provino, la cui lunghezza è stata misurata e dalla sua densità: $S_0 = \frac{1000 \cdot m}{\rho \cdot L_t} \quad (4)$ m, massa, in grammi, del provino, ρ , è la densità, in grammi per centimetro cubo, del materiale del provino, L_t è la lunghezza totale, in millimetri, dei provini.
6. L'area della sezione trasversale originale S_0 di un provino costituito da un campione longitudinale deve essere calcolata in base a: $S_0 = \frac{b_0}{4} (D_0^2 - b_0^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{D_0^2}{4} \arcsin\left(\frac{b_0}{D_0}\right) - \frac{b_0}{4} [(D_0 - 2a_0)^2 - b_0^2]^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{D_0 - 2a_0}{2}\right)^2 \arcsin\left(\frac{b_0}{D_0 - 2a_0}\right) \quad (5)$
7. La formula semplificata può essere utilizzata per provette longitudinali dove il rapporto tra larghezza e diametro esterno del tubo scende al di sotto dei limiti prefissati: $S_0 = a_0 b_0 \left[1 + \frac{b_0^2}{6D_0(D_0 - 2a_0)} \right] \quad \text{if } \frac{b_0}{D_0} < 0.25 \quad (6)$ $S_0 = a_0 b_0 \quad \text{if } \frac{b_0}{D_0} < 0.10 \quad (7)$
8. Per la lunghezza del tubo, si deve calcolare l'area della sezione trasversale originale S_0 $S_0 = \pi a_0 (D_0 - a_0) \quad (8)$

Tavolo5: Dimensioni e tolleranze dei provini per provette.

1.1.1.1.1. Condizioni di prova

a) Impostazione del punto zero della forza

Il sistema di misurazione della forza deve essere impostato su zero dopo che il treno di carico di prova è stato assemblato, ma prima che il pezzo di prova sia effettivamente afferrato ad entrambe le estremità. Una volta impostato il punto zero della forza, il sistema di misurazione della forza non deve essere modificato in alcun modo durante la prova.

b) Metodo di presa

I provini devono essere afferrati con mezzi adeguati, come cunei, impugnature avvitate, facce parallele delle ganasce o supporti con spallamento.

Occorre fare tutto il possibile per garantire che i provini siano tenuti in modo tale che la forza sia applicata il più assialmente possibile al fine di ridurre al minimo la flessione. Ciò è di particolare importanza quando si testano materiali fragili o quando si determina la resistenza alla elasticità (estensione plastica), la resistenza alla elasticità (estensione totale) o la resistenza allo snervamento.

Per garantire l'allineamento al pezzo di prova e alla disposizione dell'impugnatura, può essere applicata una forza preliminare purché non superi un valore corrispondente al 5% della resistenza allo snervamento specificata o prevista. Dovrebbe essere effettuata una correzione dell'estensione per tener conto dell'effetto della forza preliminare.

c) Tassi di prova

Salvo diverso accordo la scelta del metodo (A1, A2 o B) e le tariffe di prova sono a discrezione della procedura o del laboratorio di prova assegnato dal produttore.

Metodo A – Tasso di test basato sulla velocità di deformazione

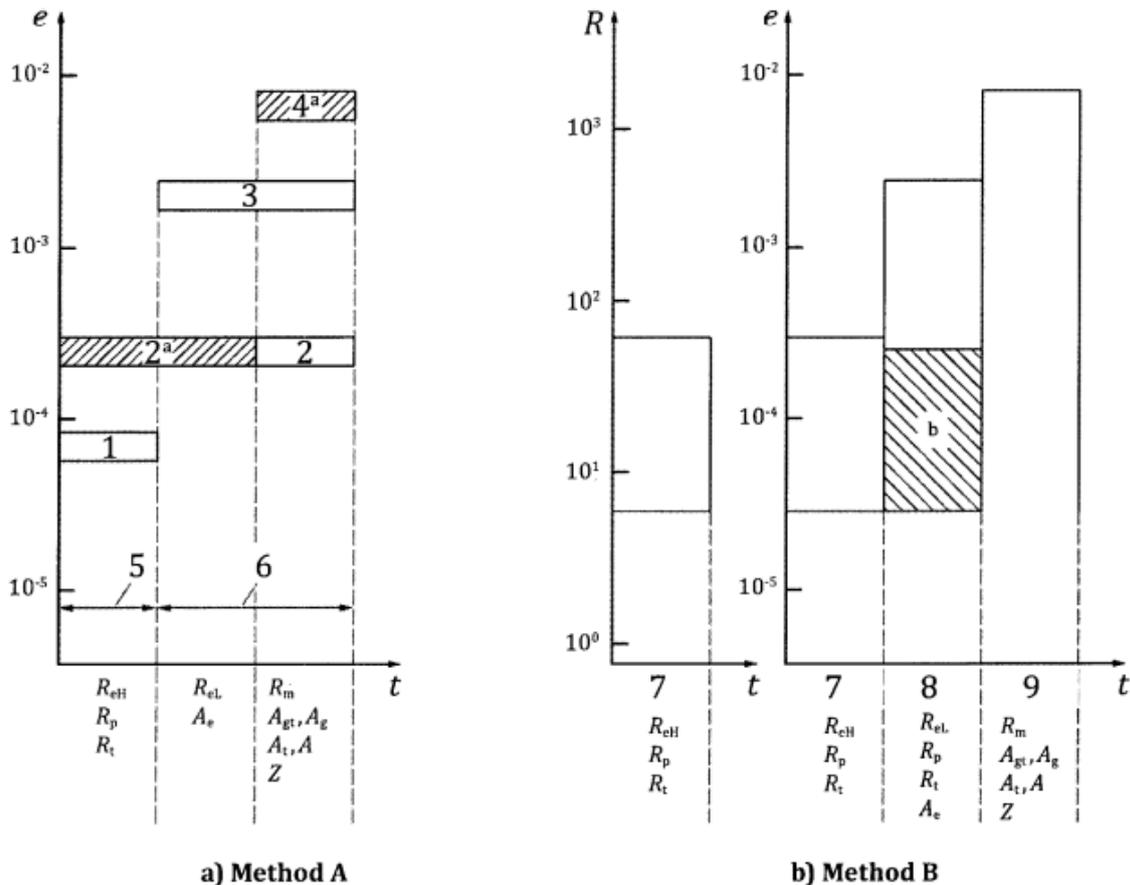
Questo metodo ha lo scopo di minimizzare la variazione delle velocità di prova durante il momento in cui vengono determinati i parametri sensibili alla velocità di deformazione e di minimizzare e minimizzare l'incertezza di misura dei risultati della prova.

Esistono due diversi tipi di controllo della velocità di deformazione:

A1 – closed loop prevede il controllo della velocità di deformazione stessa, che si basa sul feedback ottenuto da un estensimetro. $\dot{\epsilon}_{L_e}$

A2 - anello aperto comporta il controllo della velocità di deformazione stimata sulla lunghezza parallela, che si ottiene utilizzando la velocità di separazione della traversa calcolata moltiplicando la velocità di deformazione richiesta per la lunghezza parallela. $\dot{\epsilon}_c$

La velocità di deformazione deve essere mantenuta durante la determinazione della relativa proprietà del materiale.



Key

$\dot{\epsilon}$ strain rate, in s^{-1}

\dot{R} stress rate, in $MPa s^{-1}$

t time

1 range 1: $\dot{\epsilon} = 0,000\ 07\ s^{-1}$, with a relative tolerance of $\pm 20\ \%$

2 range 2: $\dot{\epsilon} = 0,000\ 25\ s^{-1}$, with a relative tolerance of $\pm 20\ \%$

3 range 3: $\dot{\epsilon} = 0,002\ s^{-1}$, with a relative tolerance of $\pm 20\ \%$

4 range 4: $\dot{\epsilon} = 0,006\ 7\ s^{-1}$, with a relative tolerance of $\pm 20\ \%$ ($0,4\ min^{-1}$, with a relative tolerance of $\pm 20\ \%$)

5 control mode: extensometer control (Method A1 closed loop) or crosshead control (Method A2 open loop)

6 control mode: crosshead control (Method A2 open loop)

7 elastic range of the test

8 plastic range for the determination of R_{eL} , R_p , R_t , A_e

9 maximum strain rate for the determination of R_m , A_{gV} , A_g , A_t , A , Z

^a Recommended.

^b Expanded range to lower rates, if testing machine is not capable of measuring or controlling the strain rate (see 10.3.3.2.5).

NOTE 1 Symbols refer to Table 1.

NOTE 2 Strain rate in the elastic range for method B is calculated from stress rate using a Young's modulus of 210 000 MPa (steel).

Figura20: Illustrazione delle velocità di deformazione da utilizzare durante la prova di trazione (metodo A).

Metodo B – Tasso di test basato sul tasso di stress

I tassi di prova devono essere conformi ai seguenti requisiti a seconda della natura del materiale. Se non diversamente specificato, qualsiasi velocità di prova conveniente può essere utilizzata fino a una sollecitazione equivalente alla metà della resistenza allo snervamento specificata.

- Carico di snervamento superiore, ReH
Il tasso di separazione delle traverse della macchina deve essere mantenuto il più costante possibile ed entro i limiti corrispondenti ai tassi di sollecitazione:

Modulo di elasticità del materiale E MPa	Tasso di stress \dot{R} MPa s ⁻¹	
	min.	max.
<150 000	2	20
≥150 000	6	60

Tavolo6: Tasso di stress.

- Resistenza allo snervamento inferiore, ReL
Se viene determinata solo la resistenza allo snervamento inferiore, la velocità di deformazione durante lo snervamento della lunghezza parallela del provino deve essere compresa tra: 0,025 s⁻¹ e 0,0025 s⁻¹
La velocità di deformazione all'interno della lunghezza parallela deve essere mantenuta il più costante possibile. Se questo tasso non può essere regolato direttamente, sarà fissato regolando il tasso di sollecitazione appena prima dell'inizio della resa, il controllo della macchina non sarà ulteriormente regolato fino al completamento della resa.

Nel caso in cui il tasso di stress nell'intervallo elastico superi i tassi massimi nella Tabella 6.

d) Determinazione del carico di snervamento superiore e inferiore, ReH, ReL

ReH, ReL possono essere determinati dalla curva forza-estensione o dall'indicatore del carico di picco secondo la figura 17. Il valore è calcolato dividendo la forza per l'area della sezione trasversale originale del pezzo di prova, S₀.

e) Determinazione della resistenza alla prova, estensione plastica, R_p

R_p è determinato dalla curva forza-estensione tracciando una linea parallela alla parte lineare della curva e ad una distanza da essa equivalente all'estensione percentuale plastica prescritta, ad es. 0,2%. Il punto in cui questa linea interseca la curva fornisce la forza corrispondente all'estensione plastica

della forza di prova desiderata (figura 15). Quest'ultimo si ottiene dividendo questa forza per l'area della sezione trasversale originale del provino, S_0 .

f) Determinazione della resistenza alla prova, estensione totale, R_t

R_t è determinato dalla curva forza-estensione tracciando una linea parallela all'asse delle ordinate (asse della forza) e ad una distanza da questo equivalente alla percentuale totale di estensione prescritta. Il punto in cui questa linea interseca la curva fornisce la forza corrispondente alla resistenza di prova desiderata (figura 16). Il valore viene calcolato dividendo questa forza per l'area della sezione trasversale originale del pezzo di prova, S_0 .

2.1.1.2.3. Descrizione del test (passo dopo passo)

- a) Preparazione dei campioni secondo il punto 3.2 della procedura
 - I campioni devono essere ispezionati visivamente e la presenza di eventuali imperfezioni sulla superficie di misura deve essere annotata nel rapporto di prova.
 - Misura Le dimensioni del campione secondo il punto 3.2 della procedura
 - Determinare le basi di misura sul provino secondo le linee guida del punto 3.1 Principio – Allungamento percentuale dopo frattura – A della procedura

- b) Preparazione della macchina di prova
 - controllare la posizione zero dei dinamometri (punto 3.3 a))
 - selezionare la resistenza alla trazione (punto 3.3 c))
 - posizionare il campione nella macchina

- c) Eseguire la prova di trazione
 - La prova deve essere eseguita in conformità a quanto previsto dalla norma ISO 6892-1 e alle linee guida fornite nel presente documento.
 - Il metodo di collaudo sulle singole macchine dipende dall'attrezzatura disponibile. Devono essere fornite le istruzioni per l'uso della macchina disponibile.

- d) Rapporto di prova

Il rapporto di prova deve contenere almeno le seguenti informazioni, salvo diverso accordo tra le parti interessate:

 - Riferimento alla norma o al presente documento, esteso con le informazioni sulle condizioni di prova,
 - Identificazione del pezzo in prova



- Materiale specificato se noto
- Tipo di provino
- Posizione e direzione del prelievo del campione, se note

- Modalità di controllo del test e frequenza di test o intervallo di frequenza di test se diversi dai metodi consigliati (A o B)
- Risultati dei test (i risultati devono essere arrotondati alle seguenti precisioni o migliori, se non diversamente specificato nelle norme di prodotto: valori di resistenza in MPa al numero intero più vicino, valori del punto di snervamento percentuale Ae, allo 0,1 % più vicino, tutte le altre estensioni percentuali e valori di allungamento allo 0,5% più vicino, riduzione percentuale dell'area Z, all'1% più vicino.

2.1.1.3. Riferimenti

[1] EN ISO 6892-1: “Materiali metallici. Prove di trazione. Metodo di prova a temperatura ambiente”

[2] EN ISO 6892-2: “Materiali metallici. Prove di trazione. Metodo di prova a temperatura elevata”

[3] ASTM E8: "Metodi di prova standard per prove di trazione su materiali metallici"

2.2. Prove di trazione di giunti saldati con saldature di testa, giunti cruciformi, giunti sovrapposti e giunti con saldature d'angolo

2.2.1. introduzione

I giunti saldati sono ampiamente utilizzati in vari settori come l'edilizia, la produzione e il trasporto. Le proprietà meccaniche dei giunti saldati sono fondamentali per determinare l'integrità strutturale e la sicurezza dei componenti in cui vengono utilizzati. Prova di trazione dei giunti saldati in uno dei test distruttivi più importanti nell'industria della saldatura. Viene utilizzato principalmente per scopi di qualificazione delle specifiche della procedura di saldatura in conformità a standard come la serie EN ISO 15614 e ASME BPVC Sezione IX. Tuttavia, la qualificazione delle procedure di saldatura non è solo l'applicazione della prova di trazione nell'industria della saldatura. Il test di trazione può essere utilizzato anche per verificare le proprietà meccaniche dei materiali di consumo per saldatura o per confermare la qualità del giunto di saldatura nella produzione secondo, ad esempio, le specifiche del prodotto.

Il principio della prova è lo stesso della prova di trazione dei materiali metallici, pertanto, se non diversamente specificato per punti specifici, si applicano le regole generali della EN ISO 6892-1 [1] e della EN ISO 6892-2 [2]. Queste regole sono trattate nel capitolo 2.1 di questo manuale.

Esistono diversi tipi di prove di trazione dei giunti saldati. Questi dipendono principalmente dal tipo di giunto. Questo capitolo tratterà alcuni dei tipi più popolari:

- Prova di trazione trasversale di giunti saldati
- Prova di trazione longitudinale su saldatura
- Prova di trazione su giunti cruciformi e sovrapposti

Le principali differenze tra questi test sono la posizione del provino, la geometria del provino e i risultati del test riportati.

2.2.2. Prova di trazione dei giunti saldati

2.2.2.1. Prova di trazione trasversale dei giunti saldati (EN ISO 4136)

Il provino deve essere prelevato trasversalmente dal giunto saldato in modo tale che, dopo la lavorazione, l'asse della saldatura rimanga al centro della lunghezza parallela del provino. Per tubi di piccolo diametro la prova può essere eseguita su tubo intero, se non previsto dalle norme applicative o concordato tra le parti contraenti, per "piccoli diametri" si intende $D \leq 50$ mm. I processi utilizzati per estrarre il campione di prova non devono modificare in alcun modo le proprietà del campione di prova. La lunghezza parallela finale del provino deve essere lavorata (segatura, fresatura, taglio a getto d'acqua) o rettificata. Le superfici devono essere prive di graffi o tacche trasversali alla direzione del provino nella lunghezza parallela, L_c , ad eccezione del sottosquadro che non deve essere rimosso se non richiesto dalla relativa norma applicativa. Se non diversamente specificato, tutta la saldatura in eccesso deve essere rimossa, ad eccezione del cordone di penetrazione nei tubi a sezione piena. Lo spessore del provino deve essere costante lungo la lunghezza parallela, la forma e le dimensioni devono essere conformi a quelle fornite nella Tabella 7 con riferimento ai simboli riportati nella Figura 22. Le dimensioni per i provini di tubo a sezione piena sono mostrate nella Figura 23.

In generale, lo spessore del provino, t_s deve essere uguale allo spessore del metallo di base vicino al giunto saldato, tuttavia nei casi in cui è richiesta la prova a tutto spessore > 30 mm, possono essere prelevati diversi provini per coprire l'intero spessore del giunto (vedi Figura 21).

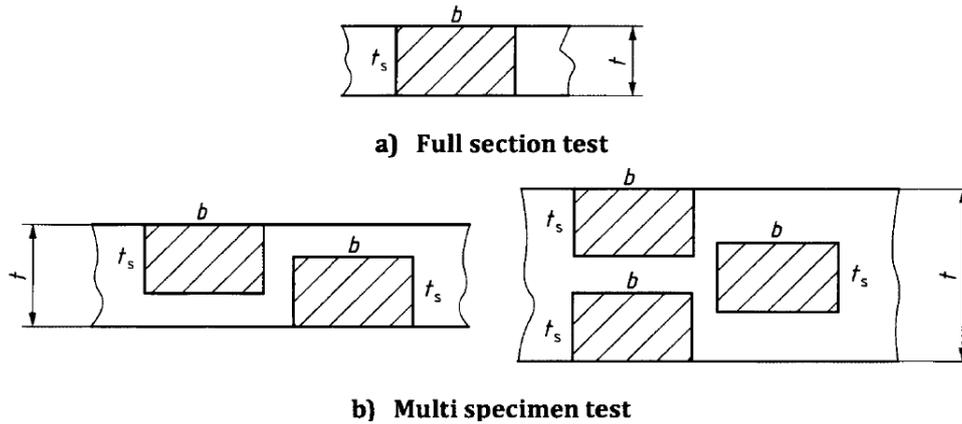


Figura21: Esempi di localizzazione dei provini nei giunti. I provini possono sovrapporsi.

Denominazione	Simbolo	Dimensione mm
Lunghezza totale del provino	l_T	per adattarsi a una particolare macchina di prova
Larghezza della spalla	B_1	$B+12$
Larghezza della lunghezza parallela	piatti	12 per $t_s \leq 2$ 25 per $t_s > 2$
	tubi	6 per $D \leq 50$ 12 per $D < 50 \leq 168,3$ 25 per $D > 168,3$
Lunghezza parallela	l_c	$\geq L_s+60$
Raggio alla spalla ^{ab}	R	≥ 25
^{UN} Per saldatura a pressione e saldatura a trave (gruppi di processo 2, 4 e 5 secondo ISO 4063, $L_s = 0$. ^B Per alcuni altri materiali metallici (es. alluminio, rame e loro leghe può essere necessario $L_c \geq L_s + 100$		

Tavolo7: Dimensioni per piastre e tubi.

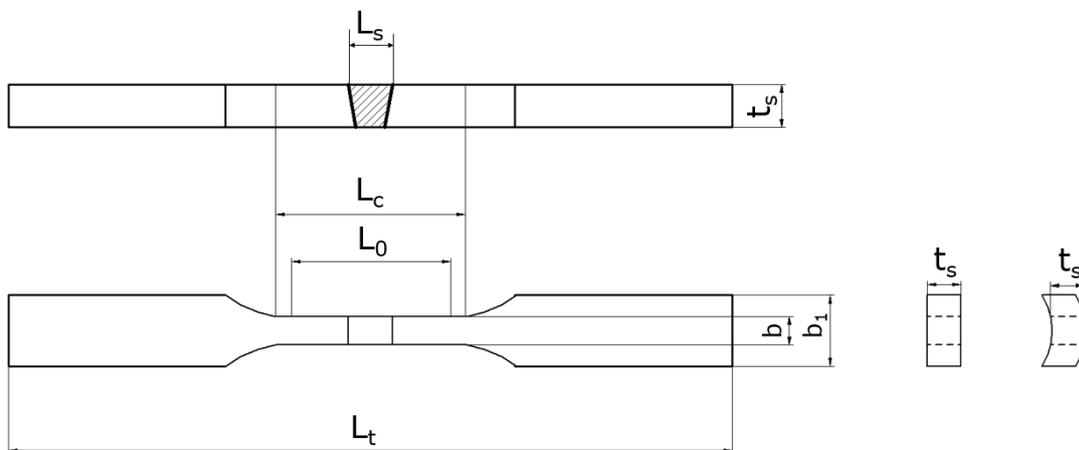


Figura22: Campione di prova per piastre o tubi.

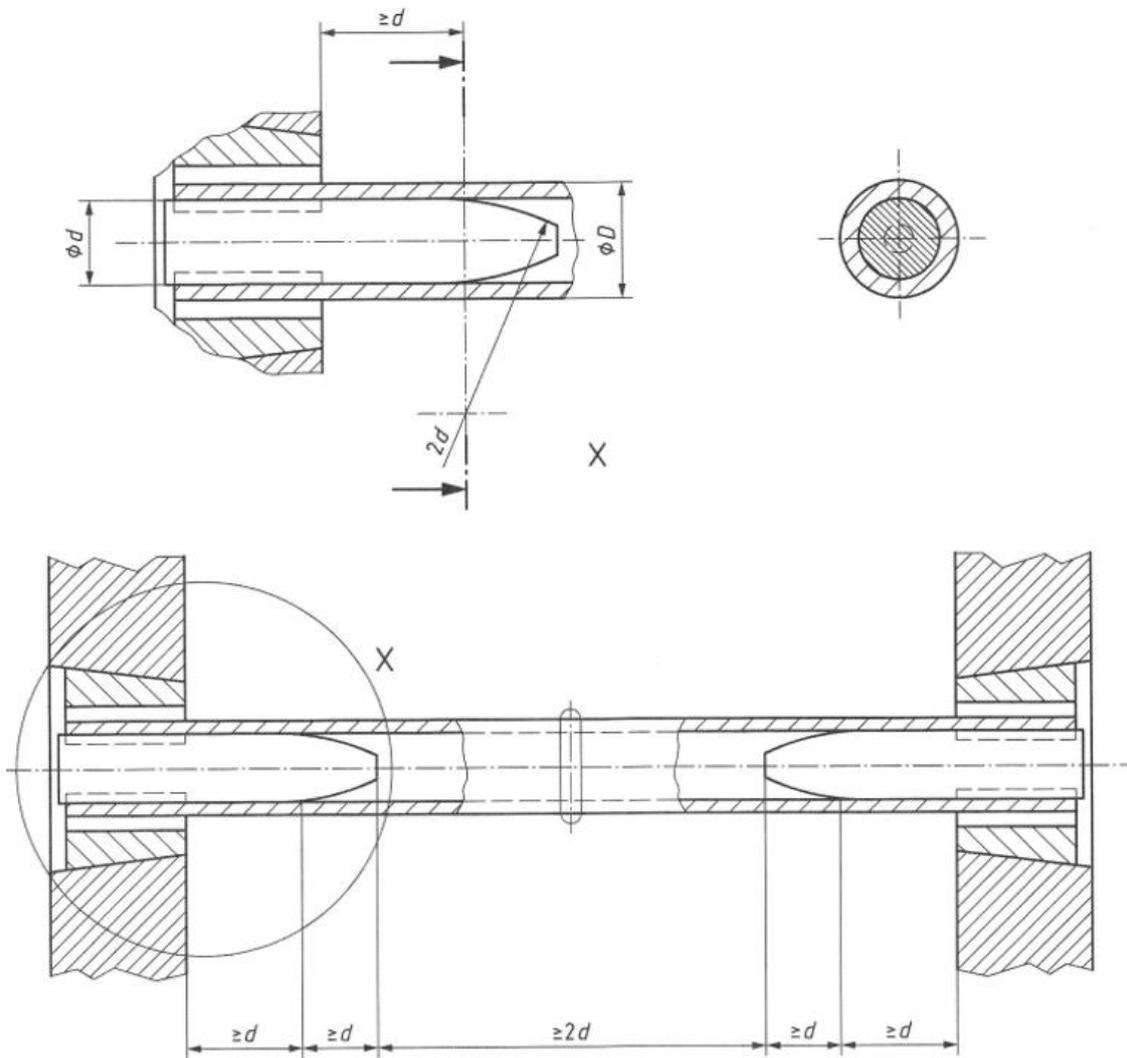


Figura23: Provino per tubo a sezione piena.

Il provino deve essere caricato in modo graduale e continuo fino alla rottura secondo la norma ISO 6892-1. I risultati del test consistono nella resistenza alla trazione del giunto saldato R_m , determinata in conformità alla norma ISO 6892-1 e nella posizione della frattura. La frattura può verificarsi in uno dei tre materiali: metallo saldato, zona termicamente alterata (ZTA) o metallo madre. Se necessario per agevolare la localizzazione della saldatura e ZTA, il lato del provino può essere macroinciso. Il risultato desiderato è la rottura del materiale di base e il raggiungimento di una resistenza alla trazione almeno uguale alla resistenza alla trazione del materiale di base. Se si verifica la rottura del pezzo di prova nel metallo saldato o nella ZTA e viene raggiunta la resistenza alla trazione corrispondente, anche il risultato del test è positivo.

Dopo la rottura del provino, le superfici fratturate devono essere esaminate e deve essere registrata l'esistenza di eventuali imperfezioni che possono aver pregiudicato la prova, incluso il loro tipo, dimensione e quantità.

Il rapporto di prova deve includere le seguenti informazioni:

- riferimento alla norma ISO 4136,
- tipo e posizione del campione di prova,

- temperatura di prova,
- risultati del test,
- posizione della frattura,
- tipo e dimensioni delle imperfezioni riscontrate.

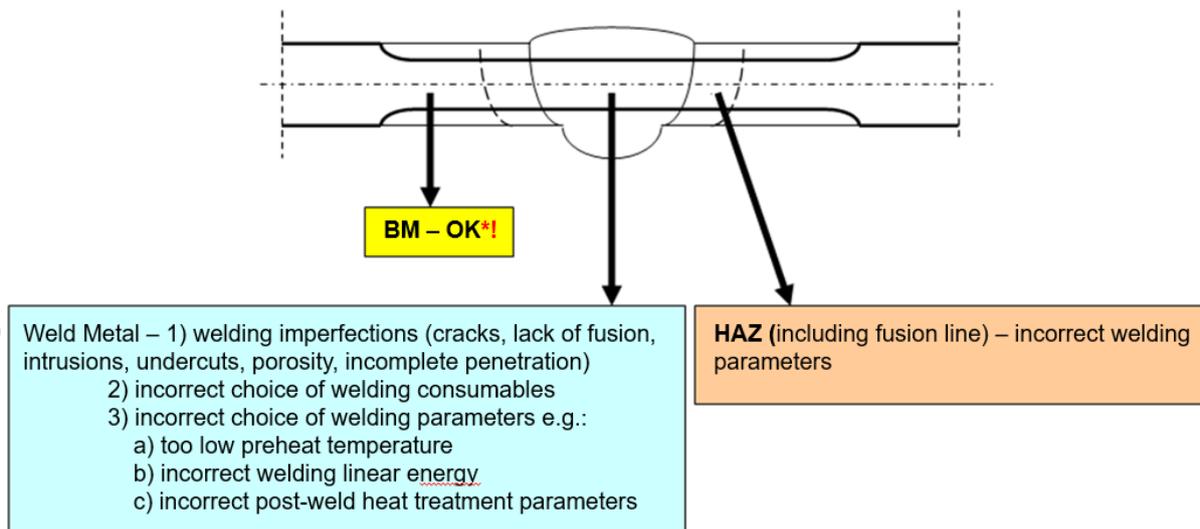


Figura24: Schema del giunto nel provino. Possibili cause di frattura nel metallo saldato o ZTA.

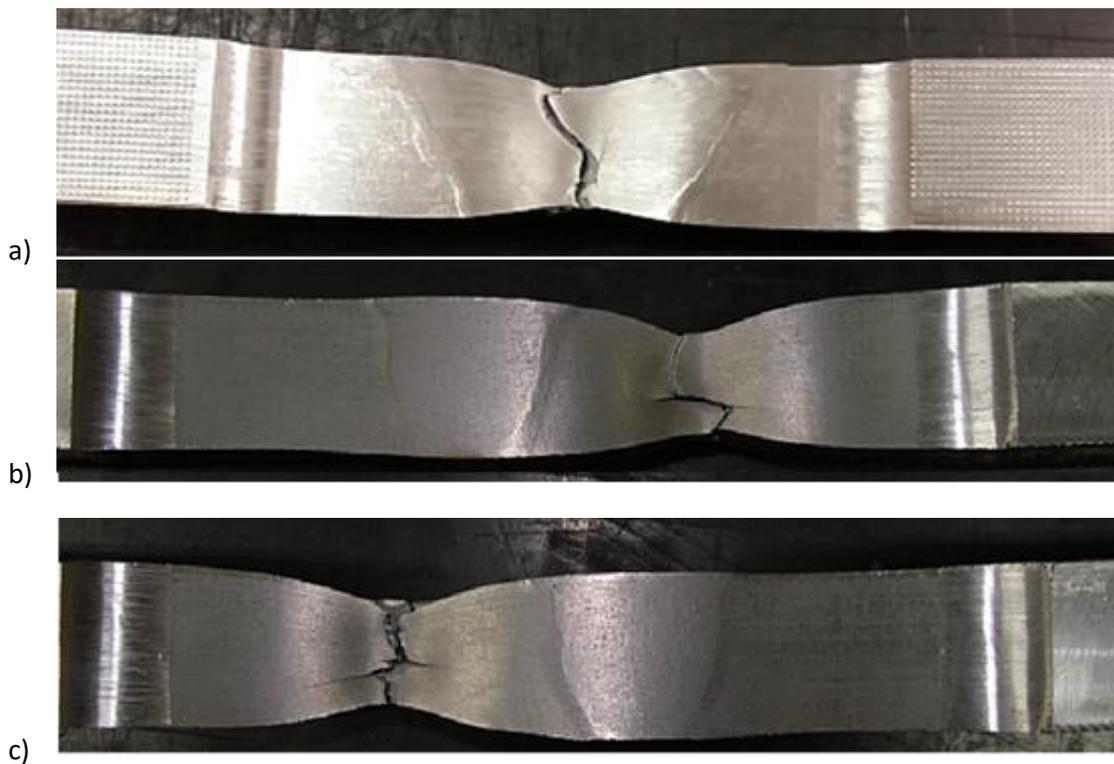
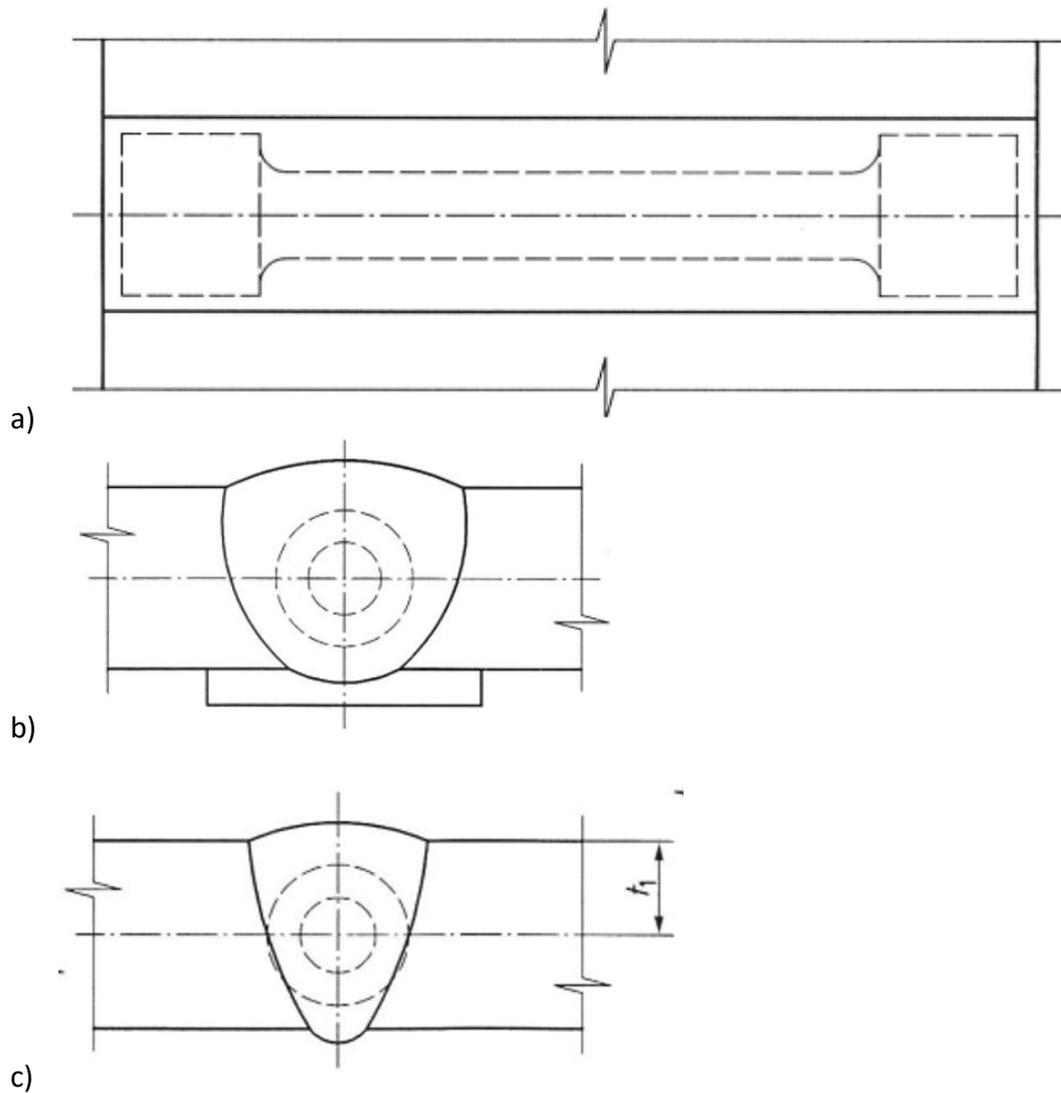


Figura25: Esempi di campioni dopo la rottura.

2.2.2.2. Prova di trazione longitudinale su metallo saldato (EN ISO 5178)

Il provino deve essere prelevato longitudinalmente dal giunto saldato del manufatto o dal provino. Dopo la lavorazione, la lunghezza parallela del campione di prova deve consistere solo di metallo saldato. Per consentire il corretto posizionamento del provino nel giunto, la sezione trasversale del giunto su entrambe le estremità del provino può essere macroincisa. Se non diversamente specificato nella particolare norma di applicazione relativa al giunto saldato in esame, i provini devono essere prelevati dal centro del metallo saldato come mostrato nella Figura 26. Nel caso in cui il provino non sia prelevato da metà spessore, la distanza dalle superfici, t_1 , deve essere registrata. Nel caso di giunti saldati molto spessi o su due lati, è possibile prelevare più di un provino in punti diversi attraverso lo spessore, nel qual caso le distanze,



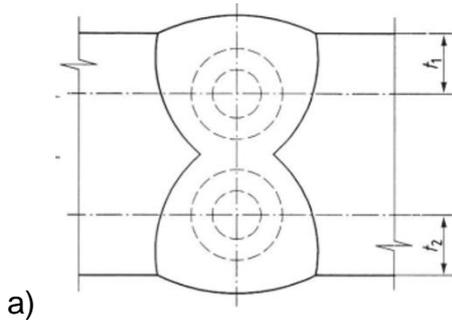


Figura26: Esempi di posizione dei provini: a) sezione del piano longitudinale, b) provino interamente saldato per la classificazione dei consumabili di saldatura, c) provino da un giunto saldato su un solo lato, d) provino da un giunto saldato da entrambi i lati.

Ogni provino deve avere una sezione trasversale circolare e le sue dimensioni, espresse come funzioni del diametro, d_0 , della lunghezza parallela devono essere conformi alla norma ISO 6892-1. Se possibile, il diametro d_0 deve avere una dimensione di 10 mm. Se ciò non è possibile, il diametro deve essere il più grande possibile ma non inferiore a 4 mm. Le estremità afferrate dei campioni di prova non sono descritte negli standard ISO 5178, quindi dovrebbero essere compatibili con la macchina per prove di trazione usata.

Il campione di prova deve essere caricato gradualmente e continuamente fino a quando la frattura e il risultato della prova non devono essere determinati in conformità alla norma ISO 6892-1. Poiché il campione è costituito solo da metallo saldato (diversamente dalla prova di trazione trasversale in cui è costituito da metallo saldato, HAZ e metallo di base), il risultato del test dovrebbe consistere nell'estensione plastica della resistenza alla prova R_p (o resistenza allo snervamento R_e , estensione totale della resistenza alla trazione R_t), resistenza alla trazione R_m , allungamento dopo la frattura A e riduzione dell'area Z . Dopo la rottura del provino, devono essere esaminate le superfici fratturate e deve essere registrata l'esistenza di eventuali imperfezioni che possono aver pregiudicato la prova, inclusa la loro tipologia, dimensione e quantità.

Il rapporto di prova deve includere le seguenti informazioni:

- riferimento alla norma ISO 4136,
- tipo e posizione del campione di prova,
- temperatura di prova,
- risultati del test,
- posizione della frattura,
- tipo e dimensioni delle imperfezioni riscontrate
- diametro d_0 .

2.2.2.3. Prova di trazione su giunti cruciformi e lappati (EN ISO 9018)

Questa norma descrive una prova di trazione per due tipi di giunti: un giunto cruciforme e un giunto sovrapposto. Entrambi i tipi di giunti sono costituiti da diverse saldature d'angolo che devono essere misurate prima del test. La posizione e la geometria con le dimensioni dei provini sono presentate nelle figure da 27 a 31.

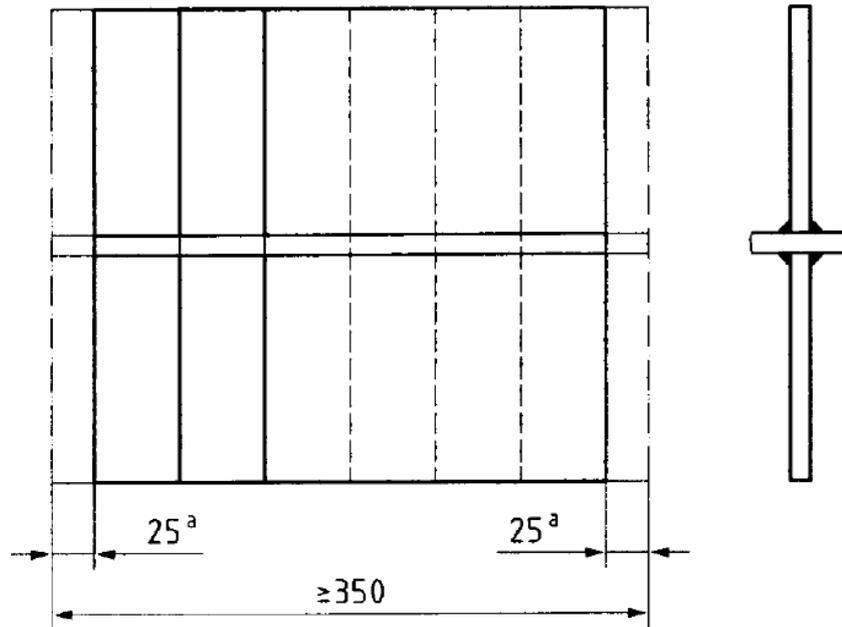


Figura27: Posizione del campione da un giunto cruciforme. a Le estremità devono essere scartate.

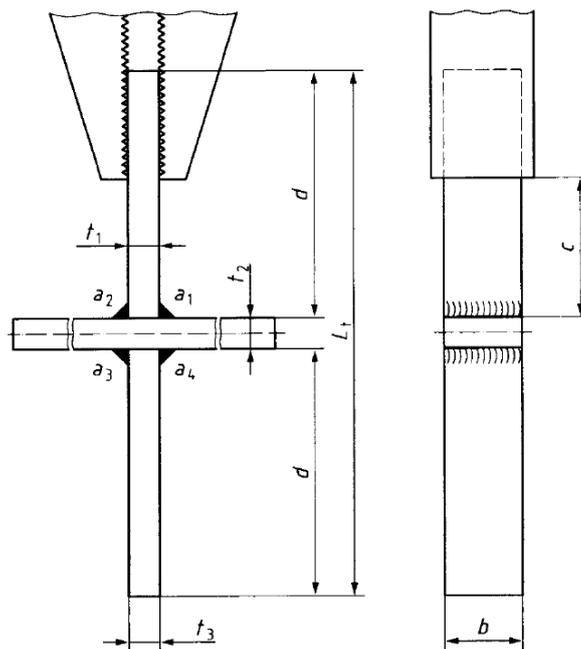


Figura28: Campione di prova del giunto cruciforme.

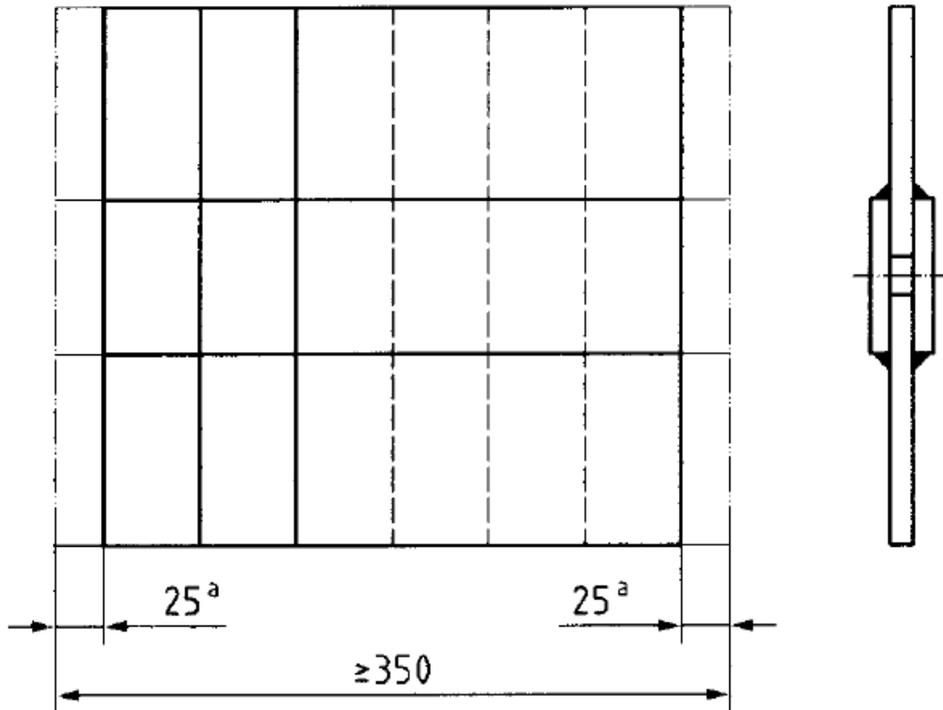


Figura 29: Posizione del campione da un giunto sovrapposto. *a* Le estremità devono essere scartate.

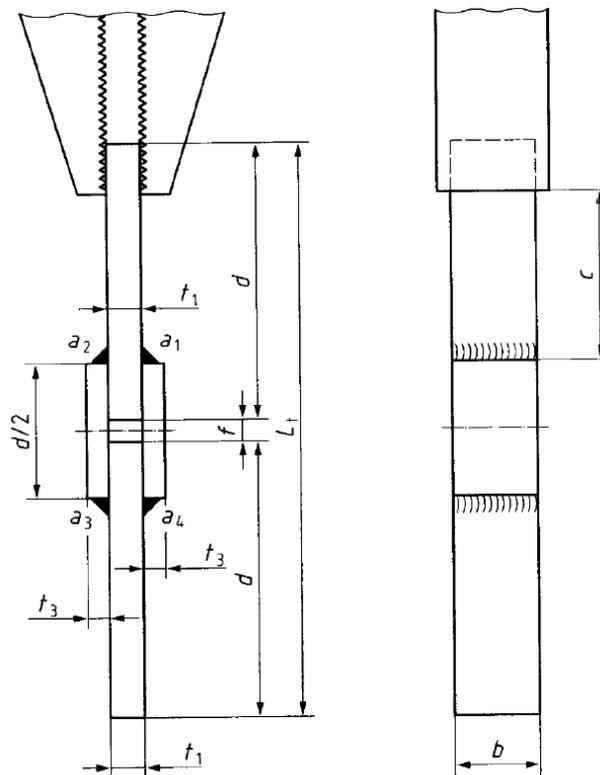


Figura 30: Campione di prova giunto lappato.

Prima della prova, le dimensioni dei provini devono essere misurate e registrate. Il provino deve essere caricato gradualmente e continuamente in direzione perpendicolare all'asse della saldatura fino alla rottura

si verifica. La velocità di carico deve essere la più uniforme possibile, le prove devono essere progressive e senza brusche variazioni.

Dopo la prova, devono essere misurati e registrati:

- la temperatura di prova, T ,
- devono essere esaminate le superfici di frattura e l'esistenza di qualsiasi imperfezione, incluso il loro tipo, dimensione e quantità,
- la larghezza media della superficie di frattura w_f deve essere determinata misurando in diversi punti attraverso la frattura ad una distanza di circa $3 \times a$ e dividendo per il numero totale di misurazioni,
- la resistenza a trazione R_m , calcolata come rapporto tra il carico massimo F_m , sostenuto dal provino durante la prova e l'area di frattura A_f espressa in MPa.

La larghezza della superficie di frattura deve essere misurata come mostrato nella Figura 31.

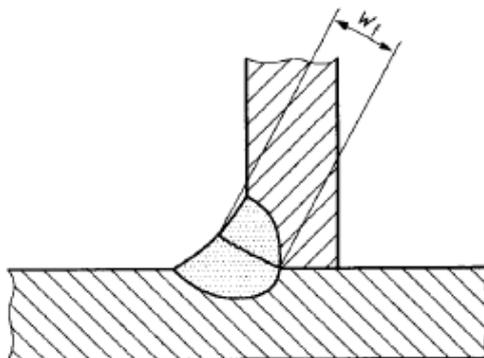


Figura31: Definizione di larghezza della superficie di frattura.

La superficie di frattura A_f deve essere calcolata utilizzando la formula:

$$A_f = w_f * b \quad (1)$$

Il rapporto di prova deve includere le seguenti informazioni:

- riferimento alla norma ISO 9018,
- data del test,
- dettagli riguardanti l'esaminatore o l'organismo di controllo,
- dimensioni del provino prima della rottura ($a_1, a_2, a_3, a_4, t_1, t_2, t_3, b$),
- quantità di disallineamento e distorsione angolare,
- posizione della frattura,
- posizione, tipo, dimensione e quantità di eventuali imperfezioni,
- larghezza media della superficie di frattura w_f ,
- resistenza alla trazione R_m ,
- carico per unità di lunghezza F_m/b ,
- temperatura di prova,
- dettagli di eventuali trattamenti termici in conformità con la relativa norma di applicazione.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



2.2.3. Riferimenti

- [1] EN ISO 6892-1: “Materiali metallici. Prove di trazione. Metodo di prova a temperatura ambiente”.
- [2] EN ISO 6892-2: “Materiali metallici. Prove di trazione. Metodo di prova a temperatura elevata”.
- [3] EN ISO 4136: “Prove distruttive su saldature in materiali metallici. Prova di trazione trasversale”.
- [4] EN ISO 5178: “Prove distruttive su saldature in materiali metallici. Prova di trazione longitudinale su metallo saldato in giunti saldati per fusione”.
- [5] EN ISO 9018: “Prove distruttive su saldature in materiali metallici. Prova di trazione su giunti cruciformi e lappati”.

2.3. Prove di piegatura di metalli e giunti saldati

2.3.1. Prefazione

Il Bend Test è un test semplice e molto importante per valutare la duttilità e l'assenza di imperfezioni su un giunto saldato o un rivestimento realizzato con un qualsiasi processo di saldatura ad arco di fusione. La registrazione del carico e della flessione (o spostamento) durante la prova non è necessaria, anzi viene eseguito solo un controllo visivo dopo l'esecuzione della prova. L'unico dato misurabile è l'allungamento; tale risultato viene calcolato dalla differenza tra una misura di riferimento prima (iniziale) e dopo il test, quindi tale differenza viene divisa per il riferimento iniziale per ottenere una percentuale. Tipicamente la prova di piegatura viene eseguita su 4 provini, prelevati con specifico orientamento in base alla norma applicativa o per accordo tra le parti contraenti. Fondamentalmente,

In questo capitolo viene riportato e descritto il metodo di prova standard per eseguire la prova di piegatura (ISO 5173).

2.3.2. Riferimenti

- ISO 5173 Prove distruttive su saldature in materiali metallici - Prove di flessione - Modifica 1
- ASTM E340 Pratica standard per la macroincisione di metalli e leghe
- ISO 6892-1 Materiali metallici - Prove di trazione - Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente
- ISO 15614-1 Specifica e qualificazione delle procedure di saldatura per materiali metallici - Test della procedura di saldatura - Parte 1: Saldatura ad arco e a gas di acciai e saldatura ad arco di nichel e leghe di nichel

2.3.3. introduzione

La prova di piegatura ha lo scopo di valutare la duttilità e/o l'assenza di imperfezioni sulla o in prossimità della superficie del provino. Sottoporre a deformazione plastica un provino, prelevato trasversalmente o longitudinalmente da un giunto saldato, piegandolo, senza invertire la direzione di piegatura, in modo tale che una delle superfici o sezioni trasversali del giunto saldato sia in tensione.

Se non diversamente specificato, la prova deve essere eseguita a una temperatura ambiente di $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

Nella tabella seguente è riportato l'elenco dei termini adottati nella ISO 5173 insieme alle loro descrizioni e definizioni (vedi Tabella 8).

I dati citati nella Tabella 8 sono riportati sotto la tabella.

Termine	Definizione	Descrizione
<i>TFBB</i>	Provino di prova di flessione frontale trasversale per una saldatura di testa	Provino per il quale la superficie in tensione è il lato che contiene la maggiore larghezza della saldatura o il lato da cui è stato applicato per la prima volta l'arco di saldatura, applicabile a provini di saldatura di testa trasversali. Vedere Figura 32.
<i>TRBB</i>	Provino di prova di flessione alla radice trasversale per una saldatura di testa	Provino per il quale la superficie in tensione è il lato opposto a quello del provino di prova di piegatura della saldatura testa a testa frontale, applicabile a provini di saldatura di testa trasversali. Vedere Figura 33.



<i>FFS</i>	Provino di prova di flessione laterale trasversale per una saldatura di testa	Provino per il quale la superficie in tensione è una sezione trasversale della saldatura. Vedere Figura 34.
<i>LFBB</i>	Provino di faccia longitudinale per una saldatura di testa	Provino la cui direzione è parallela alla direzione della saldatura di testa, applicabile a provini con curvatura frontale e radice. Vedere Figura 35.
<i>LRBB</i>	Provino di prova di curvatura alla radice per una saldatura di testa	Provino la cui direzione è parallela alla direzione della saldatura di testa, applicabile a provini con curvatura frontale e radice. Vedere Figura 35.
<i>FBC</i>	Provino di prova di piegatura frontale per rivestimento senza saldatura di testa	Provino per il quale il rivestimento è in tensione, applicabile sia a provini trasversali che longitudinali. Vedere Figura 36.
<i>SBC</i>	Provino di piegatura laterale per rivestimento senza saldatura di testa	Provino per il quale la sezione trasversale del rivestimento è in tensione, applicabile sia a trasversale che a esemplari longitudinali. Vedere Figura 37.
<i>FBCB</i>	Provino di prova di piegatura frontale per rivestimento con saldatura di testa	Campione per il quale il rivestimento è in tensione o per il quale la sezione trasversale del rivestimento è in tensione e che contiene una saldatura di testa. Vedere le figure 38.
<i>SBC</i>	Provino di piegatura laterale per rivestimento con saldatura di testa	Campione per il quale il rivestimento è in tensione o per il quale la sezione trasversale del rivestimento è in tensione e che contiene una saldatura di testa. Vedere le figure 39.
UN	Allungamento	Allungamento percentuale minimo dopo la frattura richiesto dalla specifica del materiale, misurato in [%] secondo ISO 6892-1
B	Larghezza (campione)	Larghezza del provino, misurata in [mm]
b1	Larghezza (linea di fusione esterna)	Larghezza della linea di fusione esterna, misurata in [mm]
D	Diametro (precedente/rullo)	Diametro del primo o del rullo interno, misurato in [mm]
D	Diametro (tubo)	Diametro esterno del tubo, misurato in [mm]
peso	spessore del muro	Spessore della parete del tubo, misurato in [mm]
l	Lunghezza (distanza)	Distanza tra i rulli, misurata in [mm]
Lf	Distanza	Distanza iniziale tra il contatto del rullo e la mezzeria della saldatura, misurata in [mm]
LO	Lunghezza calibro	Lunghezza utile originale, misurata in [mm]
Ls	Larghezza della saldatura	Larghezza massima della saldatura dopo la lavorazione, misurata in [mm]
tenente	Lunghezza del campione	Lunghezza totale del provino, misurata in [mm]
R	Raggio	Raggio dei bordi del provino, misurato in [mm]
R	Raggio	Raggio dei rulli, misurato in [mm]
T	Spessore (pezzo)	Spessore del provino, misurato in [mm]
tc	Spessore (rivestito)	Spessore del rivestimento, misurato in [mm]
ts	Spessore (campione)	spessore del provino, misurato in [mm]
tw	Spessore (materiale di base)	Spessore del materiale di base sotto il rivestimento, misurato in [mm]
a	Angolo	Angolo di curvatura, misurato in [°]



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Tavolo8-Elenco di termini e definizioni tratti dalla ISO 5173.

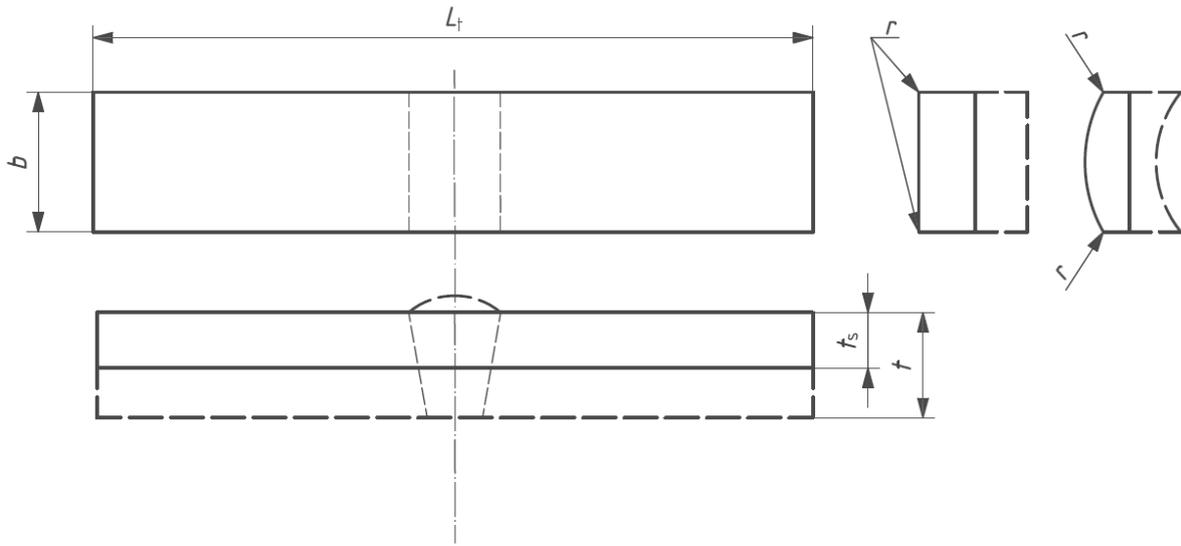


Figura32- Provino di prova di flessione frontale trasversale per una saldatura di testa (TFBB).

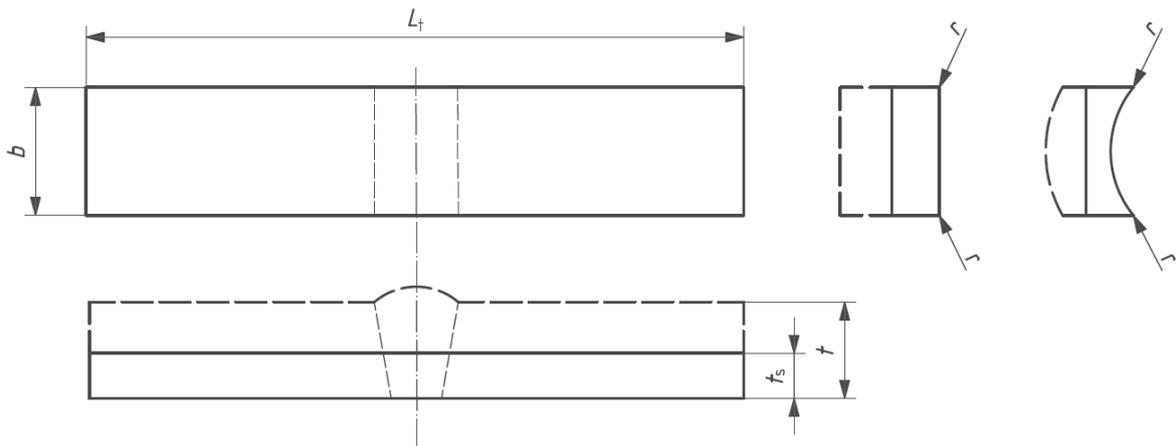


Figura33- Provino di prova di flessione alla radice trasversale per una saldatura di testa (TRBB).

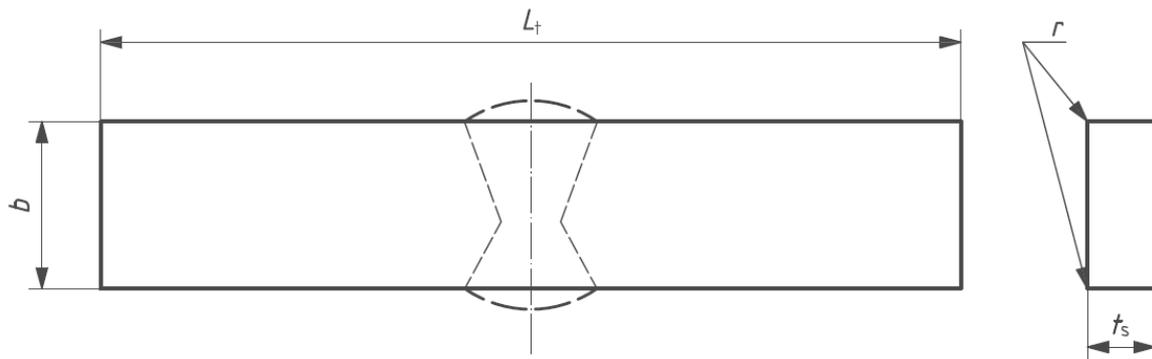


Figura34- Provino di prova di flessione laterale trasversale per una saldatura di testa (SBB).

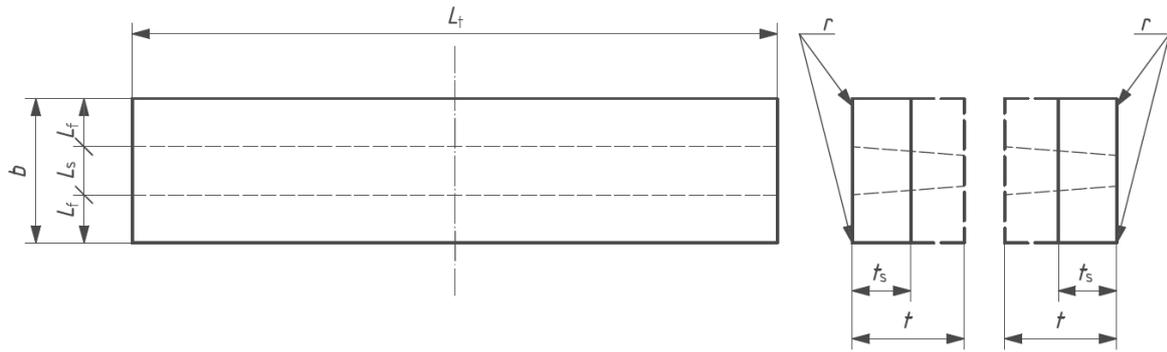


Figura35- Provino di prova a flessione longitudinale per una saldatura di testa (LFBB e LRBB).

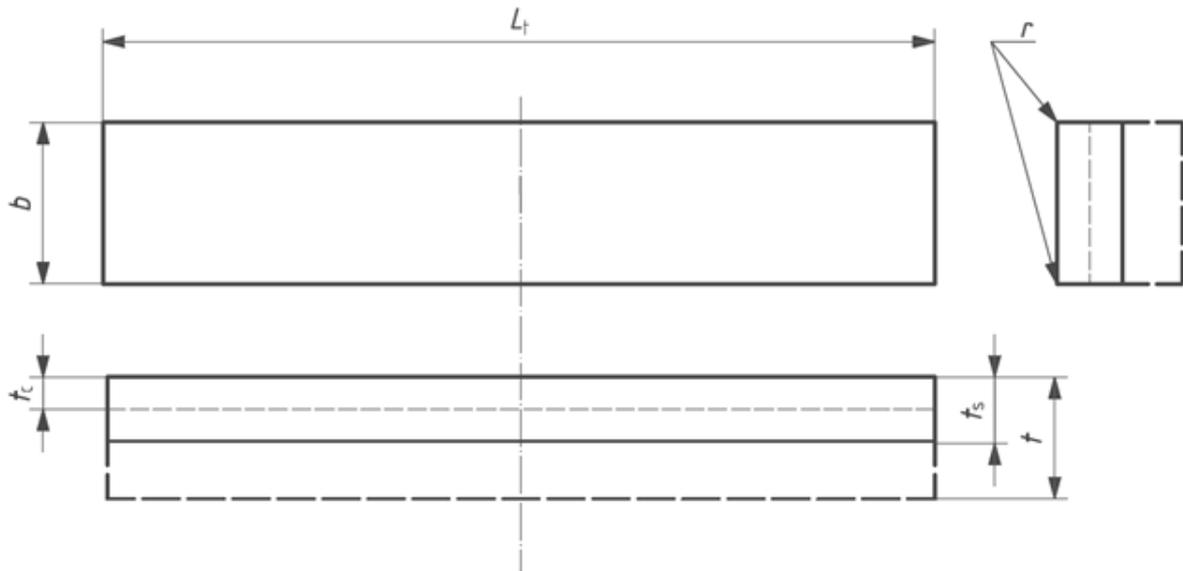


Figura36- Provino di prova di piegatura frontale per rivestimento senza saldatura di testa (FBC).

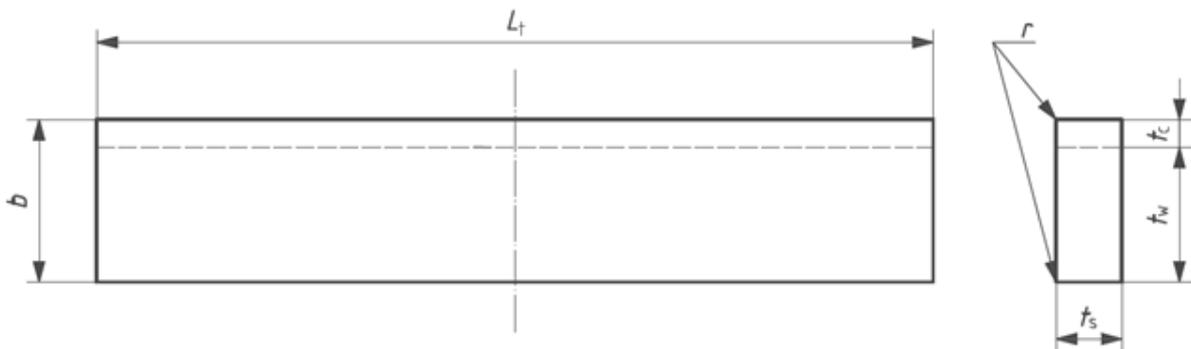


Figura37- Provino di prova di flessione laterale per rivestimento senza saldatura di testa (SBC).

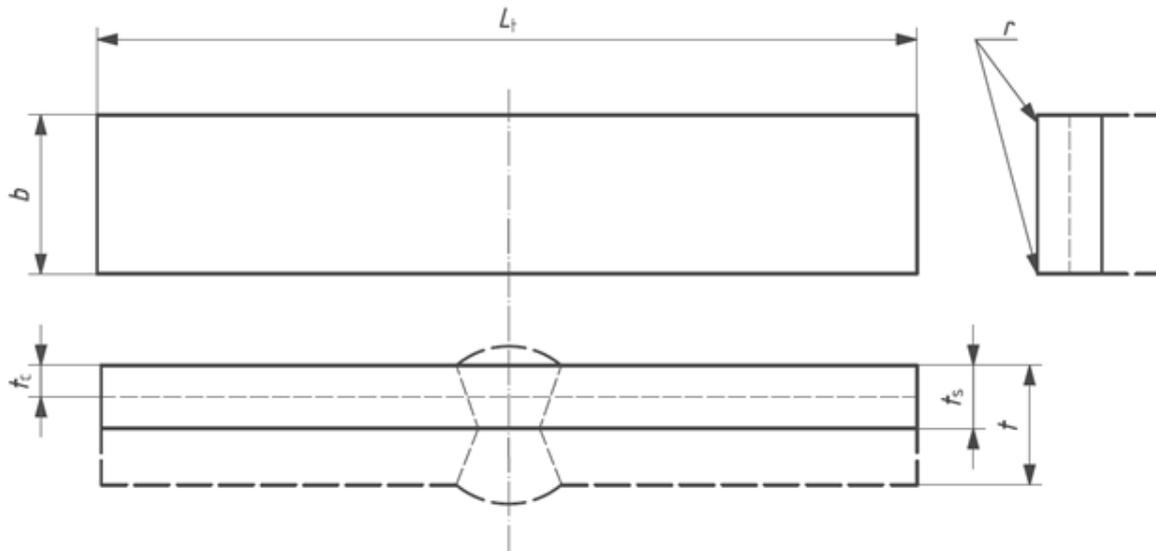


Figura38- Provino di prova di piegatura frontale per rivestimento con saldatura di testa (FBCB).

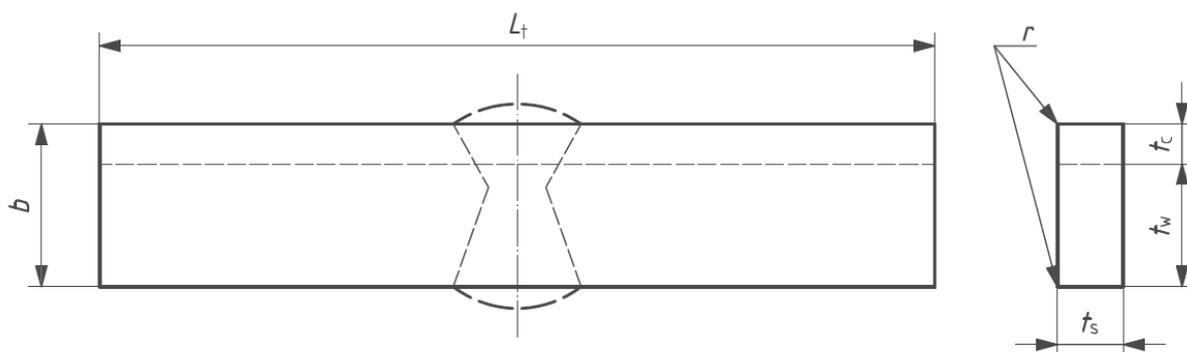


Figura39- Provino di prova di flessione laterale per rivestimento con saldatura di testa (SBCB).

1.1.1. Campioni di prova

I provini devono essere preparati in modo tale che la preparazione non influenzi né il materiale di base né il metallo saldato.

Per la prova di flessione trasversale delle saldature di testa, il provino deve essere prelevato trasversalmente dal giunto saldato del manufatto o dal provino saldato in modo tale che dopo la lavorazione l'asse della saldatura rimanga al centro del provino o in corrispondenza una posizione adatta per il test. Per la prova di flessione longitudinale delle saldature di testa, il campione di prova deve essere prelevato longitudinalmente dal giunto saldato del manufatto o dal pezzo di prova saldato. La posizione e l'orientamento dei provini di piegatura del materiale di rivestimento devono essere specificati dalla norma applicativa o mediante accordo tra le parti contraenti.

Ogni provino deve essere contrassegnato per identificare la sua posizione esatta nel manufatto o nel giunto da cui è stato rimosso. Se richiesto dalla relativa norma di applicazione, la direzione di lavorazione (ad es. laminazione o estrusione) deve essere contrassegnata. Ciascun provino deve essere contrassegnato per identificare la sua posizione esatta nel provino da cui è stato rimosso.

Nessun trattamento termico deve essere applicato al giunto saldato o al provino a meno che non sia specificato o consentito dalla relativa norma applicativa relativa al giunto saldato da testare. I dettagli di qualsiasi trattamento termico devono essere registrati nel verbale di prova. Se si verifica l'invecchiamento naturale delle leghe di alluminio, deve essere registrato il tempo che intercorre tra la saldatura e il collaudo.

I processi meccanici o termici utilizzati per estrarre il provino non devono modificare in alcun modo le proprietà del provino. È ammessa l'asportazione meccanica di qualsiasi materiale che subisca il taglio termico purché le dimensioni finite dei provini siano specificate nell'elenco riportato.

Le superfici del campione di prova devono essere lavorate in modo tale che, se non diversamente specificato nella relativa norma applicativa e/o accordo tra le parti contraenti, tutto il metallo di saldatura in eccesso venga rimosso. Se non diversamente specificato, il cordone di penetrazione può essere lasciato intatto all'interno di tubi di piccolo diametro sul lato opposto del primo. Le fasi finali di preparazione dovranno essere ottenute mediante lavorazione meccanica o rettifica, adottando le opportune precauzioni per evitare incrudimenti superficiali o eccessivi riscaldamenti del materiale. Entro la lunghezza l (vedere le figure da 42 a 44), nel paragrafo Procedura di prova), la superficie deve essere priva di graffi o tacche trasversali alla direzione del provino, ad eccezione dei sottosquadri, che non devono essere rimossi se non richiesto dalla relativa applicazione standard.

Il taglio non deve essere utilizzato per campioni di acciaio con spessori > 8 mm. Se per estrarre il provino dalla piastra saldata o dal provino si utilizzano il taglio termico o altri metodi di taglio che potrebbero influenzare le superfici di taglio, i tagli devono essere eseguiti a una distanza ≥ 3 mm dal provino ma, in qualsiasi caso, sufficiente (a seconda del processo utilizzato) per non introdurre effetti metallurgici che potrebbero influenzare i risultati del test.

Su altri materiali metallici non sono ammesse superfici tranciate o a taglio termico su provini piegati; deve essere utilizzata solo la lavorazione meccanica (ad es. segatura, molatura o fresatura).

Nell'elenco seguente, la dimensione del provino è divisa per il tipo di test:

- **TFBBe TRBB** (prove di flessione trasversale e di flessione frontale di una saldatura di testa), vedere figure 32 e 33
 - t_s = spessore del materiale di base vicino al giunto saldato o t (max 30 mm)
 - se $t > 10$ mm: t_s può essere lavorato o rifinito meccanicamente da un lato fino a $10 \pm 0,5$ mm (vedere Figure 32 e 33)
 - La faccia o radice della saldatura deve essere in tensione quando il provino è piegato
 - Quando $t_s > 10$ mm, possono essere prelevati diversi provini per coprire l'intero spessore del giunto (vedi Figura 40); in tali casi, deve essere identificata la posizione del provino nello spessore del giunto saldato.
 - l deve essere uguale al valore richiesto e deve soddisfare i requisiti delle norme di applicazione appropriate
 - Per piastre piane: $b \geq 4 \cdot t_s$ se non diversamente specificato nella relativa norma applicativa.
 - Per tubi con $D \leq 50$ mm: $b = t + 0,1 \cdot D$ ($b = 8$ mm min)
 - Per tubi con $D > 50$ mm: $b = t + 0,05 \cdot D$ (8 mm $< b < 40$ mm)
 - Per tubi con $D > 25 \cdot wt$, il provino può essere prelevato come richiesto per le lamiere piane
 - $r \leq 0,2 t_s$ (3 mm max), sulla faccia in tensione e lavorata meccanicamente
- **FFS** (Prove di flessione laterale trasversale di una saldatura di testa), vedere Figura 34
 - b = spessore del materiale di base in prossimità del giunto saldato o t (max 30 mm), vedere Figura 34



- richiesto $t > 10 \pm 0,5$ mm se non diversamente specificato nella relativa norma di applicazione

- Quando $t_s > 40$ mm è consentito dividere il provino nel piano dello spessore del provino (vedi Figura 41); in tali casi, deve essere identificata la posizione del provino nello spessore del giunto saldato.
 - L_t deve essere pari al valore richiesto e deve soddisfare i requisiti delle norme di applicazione appropriate
 - $r \leq 0,2 t_s$ (3 mm max), sulla faccia in tensione e lavorata meccanicamente
- **LFBB e LRBB**(Prove di piegatura longitudinale di una saldatura di testa), vedere Figura 35
- t_s = spessore del materiale di base vicino al giunto saldato o t (max 10 mm)
 - se $t > 10$ mm: t_s può essere lavorato o rifinito meccanicamente da un lato fino a $10 \pm 0,5$ mm (vedere Figura 35)
 - La faccia o radice della saldatura deve essere in tensione quando il provino è piegato
 - L_t deve essere pari al valore richiesto e deve soddisfare i requisiti delle norme di applicazione appropriate
 - $b = L_s + 2 \cdot b_1$ (dove $b_1 = 15$ mm, se non diversamente specificato nella relativa norma applicativa e/o per accordo tra le parti contraenti.)
 - $r \leq 0,2 t_s$ (3 mm max), sulla faccia in tensione e lavorata meccanicamente
- **FBC**(Prove di flessione frontale del materiale di rivestimento senza saldatura di testa), vedere Figura 36
- $t_s = t_w + t_c$ (max 10 mm)
 - se $t > 10$ mm: t_s può essere lavorato o rifinito meccanicamente dal metallo di base fino a $10 \pm 0,5$ mm (vedi Figura 36), se lo spessore del rivestimento lo consente (altrimenti, se $t_c < 10$ mm)
 - se $(t_w + t_c) > 10$ mm: è consentito asportare materiale di base per produrre un t_s secondo la norma applicativa o come concordato tra le parti contraenti.
 - L_t deve essere pari al valore richiesto e deve soddisfare i requisiti delle norme di applicazione appropriate
 - Per lamiere piane: $b \geq 4 \cdot t_s$ se non diversamente specificato nella relativa norma applicativa.
 - Per tubi con $D \leq 50$ mm: $b = t + 0,1 \cdot D$ ($b = 8$ mm min)
 - Per tubi con $D > 50$ mm: $b = t + 0,05 \cdot D$ (8 mm $< b < 40$ mm)
 - Per tubi con $D > 25 \cdot w_t$, il provino può essere prelevato come richiesto per le lamiere piane
 - $r \leq 0,2 t_s$ (3 mm max), sulla faccia in tensione e lavorata meccanicamente
- **SBC**(Prove di piegatura laterale del materiale di rivestimento senza saldatura di testa), vedere Figura 37
- $b = t_w + t_c$ (max 50 mm)
 - $t_s = 10 \pm 0,5$ mm (se non diversamente specificato nella relativa norma di applicazione)
 - se $(t_w + t_c) > 40$ mm: è consentito asportare materiale di base per produrre t_s secondo la norma applicativa o come concordato tra le parti contraenti.
 - L_t deve essere pari al valore richiesto e deve soddisfare i requisiti delle norme di applicazione appropriate
 - $r \leq 0,2 t_s$ (3 mm max), sulla faccia in tensione e lavorata meccanicamente
- **FBCB**(Prove di flessione della faccia trasversale del materiale di rivestimento con una saldatura di testa), vedere Figura 38
- $t_s = t_w + t_c$ (max 10 mm)



- se $t > 10$ mm: t_s può essere lavorato o rifinito meccanicamente dal lato opposto del rivestimento (vedi Figura 38) fino a $10 \pm 0,5$ mm, se lo spessore del rivestimento lo consente (altrimenti, se $t_c < 10$ mm); in tal caso, la posizione della saldatura deve rimanere al centro del provino o in una posizione idonea per la prova (vedere Figura 38)
 - Quando $t > t_s$ (in questo caso: 10 mm max) e quando la prova riguarda il giunto completo comprendente sia il giunto di testa che il rivestimento, possono essere prelevati più provini in modo da coprire l'intero spessore del giunto come indicato in Figura 40
 - Quando $(t_w + t_c) > t_s$ (in questo caso: 10 mm max) e quando lo scopo della prova è quello di esaminare solo il rivestimento, non sono necessarie ulteriori prove sul materiale di base.
 - L_t deve essere pari al valore richiesto e deve soddisfare i requisiti delle norme di applicazione appropriate
 - Per lamiere piane: $b \geq 4 \cdot t_s$ se non diversamente specificato nella relativa norma applicativa.
 - Per tubi con $D \leq 50$ mm: $b = t + 0,1 \cdot D$ ($b = 8$ mm min)
 - Per tubi con $D > 50$ mm: $b = t + 0,05 \cdot D$ (8 mm $< b < 40$ mm)
 - Per tubi con $D > 25 \cdot w_t$, il provino può essere prelevato come richiesto per le lamiere piane
 - $r \leq 0,2 t_s$ (3 mm max), sulla faccia in tensione e lavorata meccanicamente
- **SBC**(Provino di prova di flessione laterale trasversale per rivestimento con saldatura di testa), vedere Figura 39
- $b = t_w + t_c$ (max 50 mm)
 - $t_s = 10 \pm 0,5$ mm (se non diversamente specificato nella relativa norma di applicazione)
 - La posizione della saldatura deve rimanere al centro del provino o in una posizione adatta per il test (vedere Figura 39)
 - se $(t_w + t_c) > 40$ mm: è consentito asportare materiale di base per produrre ab secondo la norma applicativa o come concordato tra le parti contraenti.
 - Quando $t > t_s$ (in questo caso: 10 mm max) e quando la prova riguarda il giunto completo comprendente sia il giunto di testa che il rivestimento, possono essere prelevati più provini in modo da coprire l'intero spessore del giunto come indicato in Figura 40
 - Quando $(t_w + t_c) > t_s$ (in questo caso: 10 mm max) e quando lo scopo della prova è quello di esaminare solo il rivestimento, non sono necessarie ulteriori prove sul materiale di base
 - L_t deve essere pari al valore richiesto e deve soddisfare i requisiti delle norme di applicazione appropriate
 - $r \leq 0,2 t_s$ (3 mm max), sulla faccia in tensione e lavorata meccanicamente

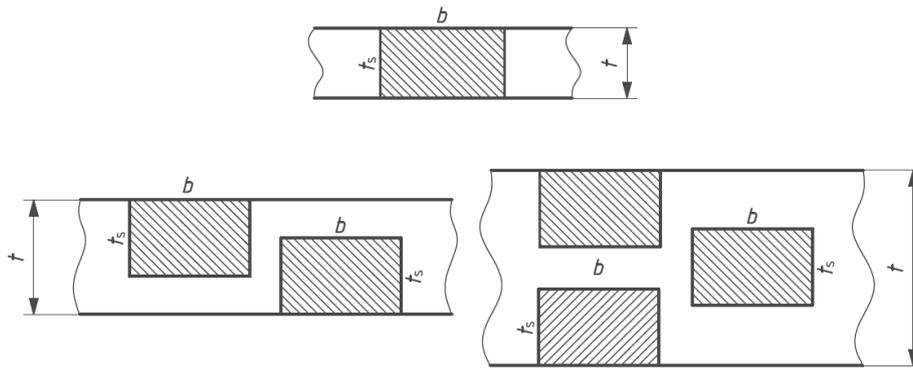


Figura40: Provini di prova di flessione alla radice e in faccia per una saldatura di testa (TFBB, TRBB, LFBB e LRBB).

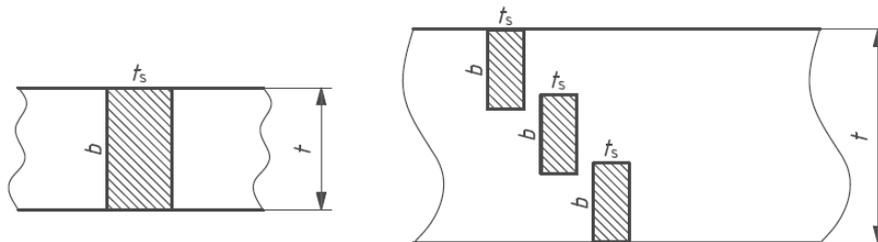


Figura41: Provini di prova di flessione laterale per una saldatura di testa (SBB).

1.1.1. Procedura di prova

Esistono due metodi principali per eseguire una prova di piegatura: Prova con un formatore (vedi Figure da 42 a 45) e Prova con un rullo (Figura 46). Tra i metodi “prova con formatrice” c'è la dima tipo U suggerita per materiali sottili e che richiedono una dima specifica (vedi figura 45). La prova di flessione guidata con un rullo è un metodo alternativo di prova che può essere utilizzato per le leghe di alluminio e per giunzioni in altri materiali in cui il metallo di saldatura, o uno dei materiali da unire, ha un limite di snervamento inferiore o resistenza alla flessione rispetto al (altro) materiale di base.

Prima di iniziare la prova di piegatura con un formatore, la forma e la posizione della zona di fusione o della linea di fusione possono essere stabilite mediante una leggera macroincisione sulla superficie del provino da testare in tensione (vedere ASTM E340 per ulteriori informazioni sulla macroincisione). La prova con un formatore deve essere eseguita posizionando il provino su due supporti costituiti da rulli paralleli (vedere le figure da 42 a 44) o una maschera di tipo a U (vedere la figura 45); la saldatura deve trovarsi nel punto medio tra i rulli, ad eccezione delle prove di flessione longitudinale. Il provino deve essere piegato caricando gradualmente e continuamente al centro della campata, sull'asse della saldatura, con un carico applicato da un primo (flessione a tre punti) perpendicolare alla superficie del provino. Il raggio del pistone e della matrice per la maschera di tipo U deve essere conforme alla Tabella 9.

La prova con un rullo deve essere eseguita bloccando saldamente un'estremità del provino in un dispositivo di prova avente un rullo parallelo a un formatore. Il provino deve essere piegato caricandolo, in modo graduale e continuo, mediante la rotazione del rullo esterno lungo un arco centrato sull'asse del primo.

Il metodo di prova standard ISO 5173 non specifica alcuna velocità di prova per quanto riguarda la prova con un formatore o con un rullo; è richiesta solo la raccomandazione di caricare il provino in modo graduale e continuo. Come procedura generale, un tempo totale di prova di circa 10÷20 secondi per eseguire una prova di piega è un buon punto di partenza per impostare la velocità di prova di conseguenza.

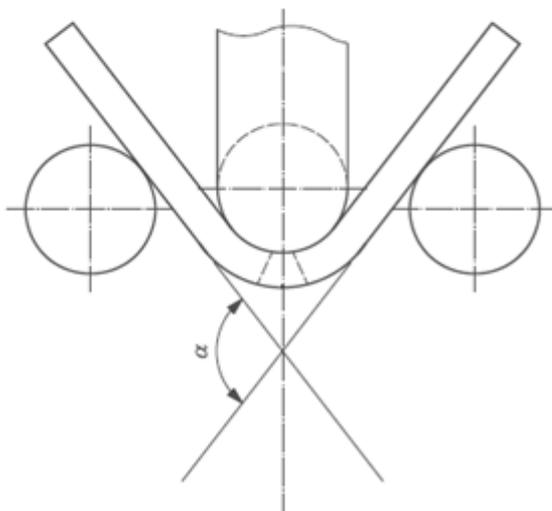
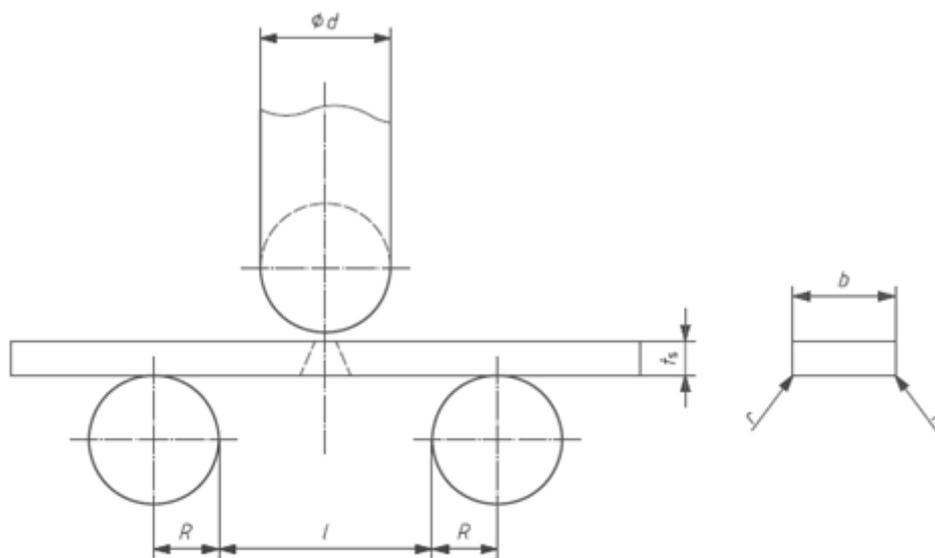
La distanza tra i rulli è riportata nelle Figure da 42 a 44, mentre il diametro del formatore e del rullo è correlato all'allungamento (A) del metallo madre dei provini, determinato attraverso la prova di trazione (vedi ISO 6892-1). In particolare si distinguono due casi: materiali con $A < 20\%$ e materiali con $A \geq 20\%$ come riportato in Tabella 10.

Il test è completato quando il test raggiunge la definizione di completamento del test fornita nella relativa norma applicativa (ad es. viene raggiunto un angolo di piegatura specifico). Diversamente possono essere applicate le seguenti definizioni in base al tipo di prova condotta (con formatrice, con dima, con rullo):

- Figure da 42 a 44: il campione viene espulso dal fondo dell'attrezzatura;
- Figura 45: non è possibile inserire un filo da 3 mm tra il provino e la fixture inferiore;
- Figura 46: il rullo esterno è stato spostato di 180° rispetto al punto di partenza.
- 6.6 Allungamento alla flessione

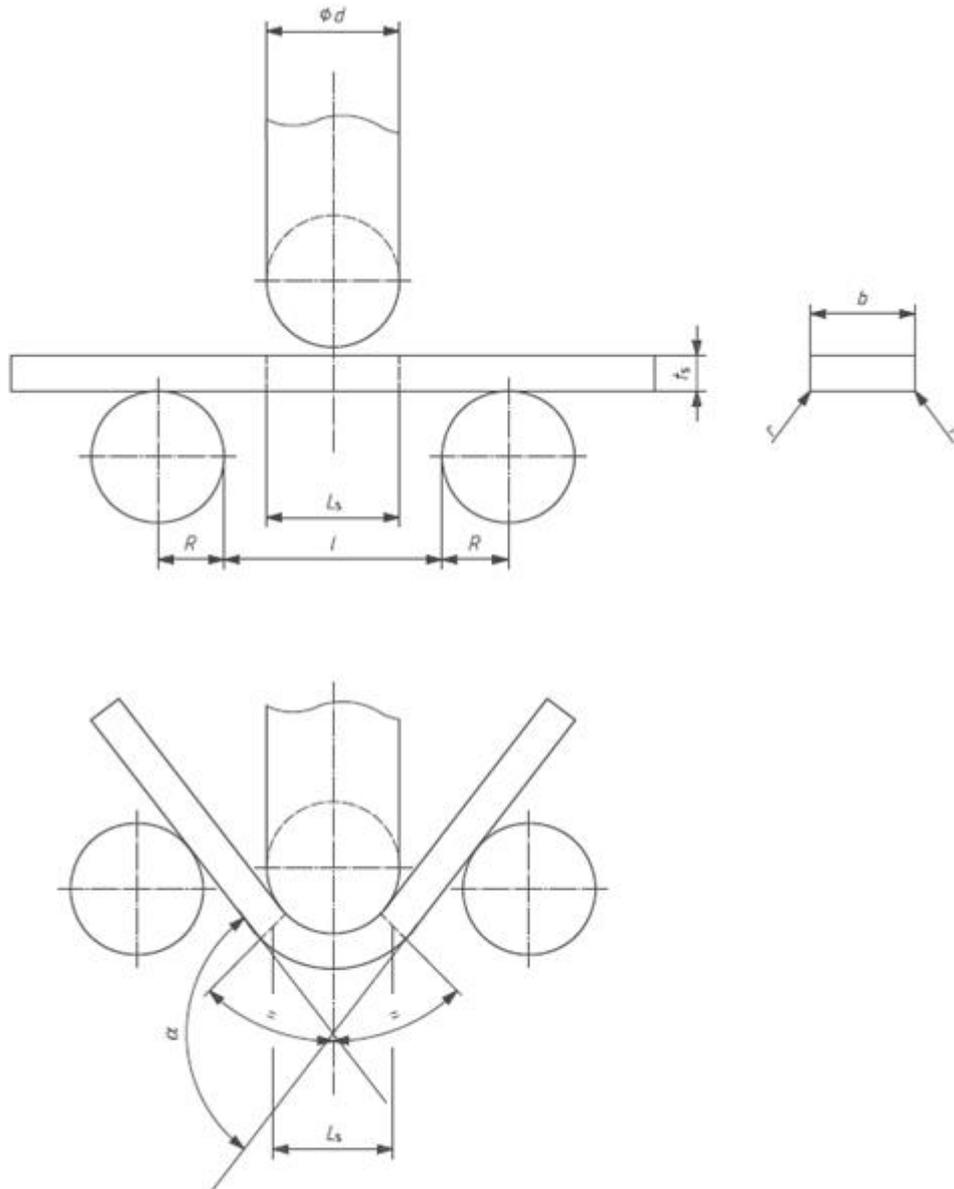
La prova di piegatura permette di quantificare la duttilità del provino mediante la misura dell'allungamento; in tal caso, se questo risultato è richiesto, i provini di acciaio per prove di flessione alla radice o alla faccia devono avere una lunghezza utile conforme alle seguenti condizioni:

- Saldature per fusione: $L_0 = L_s$ o $L_0 = 2 \cdot L_s$ o $L_0 = L_s - t_s$
- Saldature a pressione, saldature a fascio di elettroni e saldature laser: $L_0 = t_s$ o $L_0 = 2 \cdot t_s$



$$d + 2t_s + 3 \leq l \leq d + 3t_s$$

Figura42- Prova di flessione della faccia trasversale o della radice.



$$d + 2t_s + 3 \leq l \leq d + 3t_s$$

$$d \geq 1,3L_s - t_s$$

Figura43- Prova di flessione laterale trasversale.

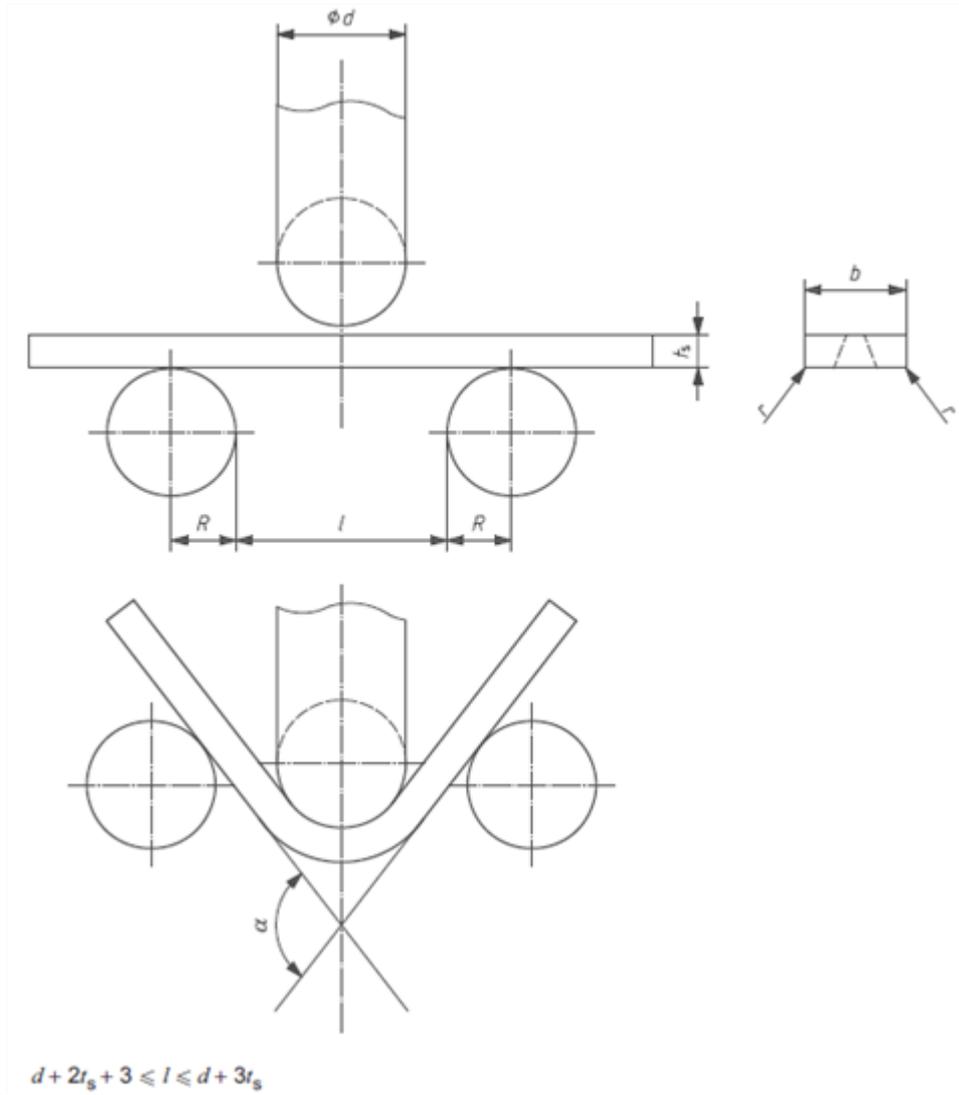


Figura44- Prova di flessione longitudinale.

Dimensions in millimetres

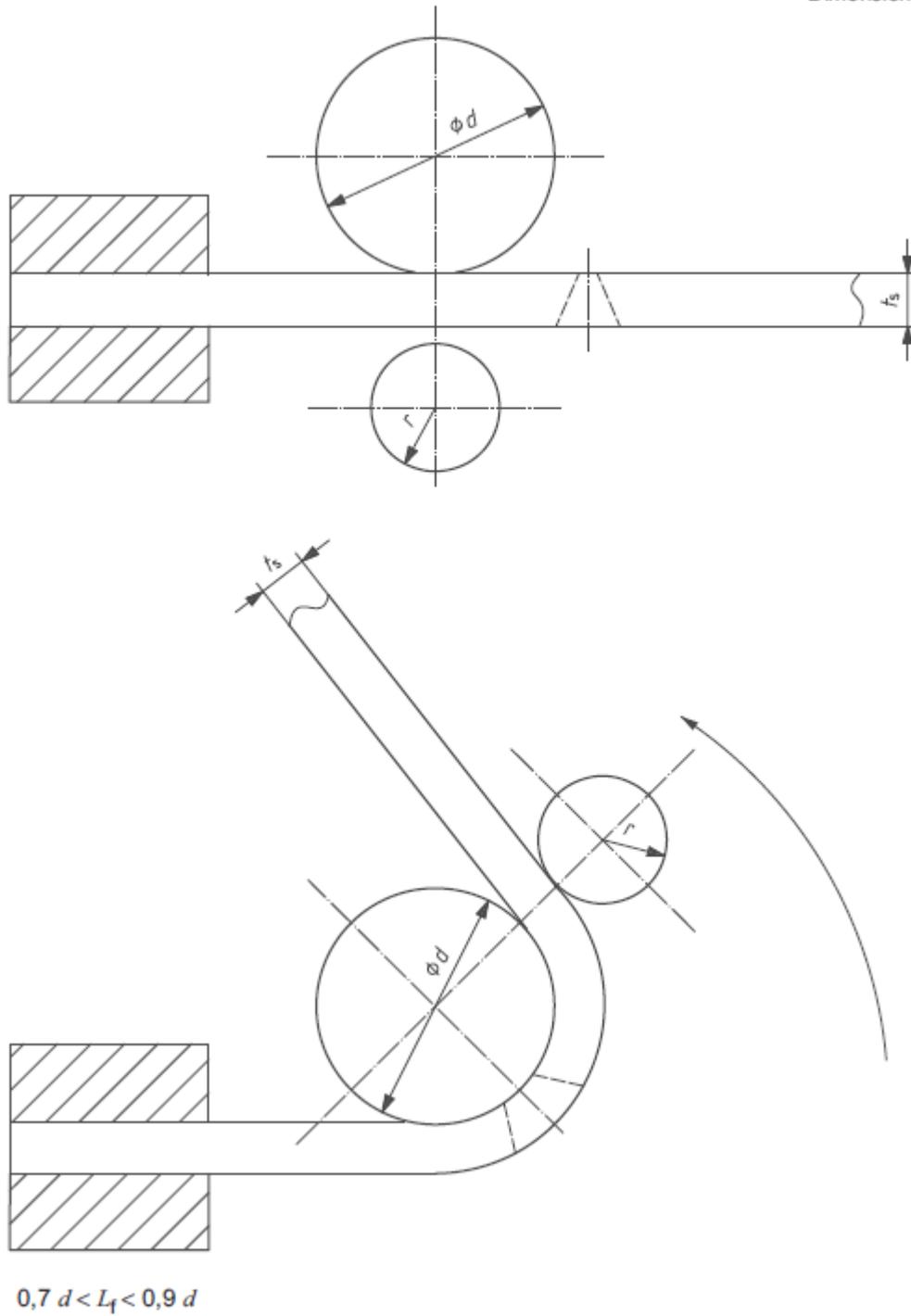


Figura46- Metodo di prova di piegatura con rullo.

Allungamento del metallo madre, UN [%]	Diametro del primo o del rullo interno, D [mm]
--	--



≥ 20	4·ts
< 20	100· tsLA - ts

Tavolo10- Diametro del formatore e del rullo.

1.1.1. Risultato del test

Dopo la piegatura, devono essere esaminati sia la superficie esterna che i lati del provino. La valutazione del provino di piegatura deve essere effettuata e riportata in conformità con lo standard di applicazione pertinente (ad esempio, se viene applicata la ISO 15614-1, durante il test, i provini non devono rivelare alcuna imperfezione > 3 mm in qualsiasi direzione; imperfezioni che appaiono agli angoli di un provino durante la prova deve essere ignorato nella valutazione).

1.1.2. Rapporto di prova

Se si applica la norma ISO 5173, il rapporto di prova deve includere almeno le seguenti informazioni:

- riferimento al metodo di prova standard applicato con l'anno di pubblicazione, vale a dire ISO 5173;
- identificazione del provino (marcatura, tipo di materiale di base, trattamento termico, ecc.);
- forma e dimensioni del provino;
- tipo e simbolo della prova di piegatura (prova di piegatura in radice e faccia, trasversale o longitudinale, laterale trasversale);
- condizioni di prova (vedi paragrafo "Procedura di prova");
- metodi di prova (ex o rullo);
- diametro del primo;
- distanza tra i rulli.
- temperatura di prova se non compresa nell'intervallo di temperatura (23 ± 5) °C;
- tipo e dimensioni delle imperfezioni riscontrate;
- angolo di curvatura.
- allungamento (se richiesto)
- Un esempio di un tipico rapporto di prova è fornito nell'Esempio 1.

1.1.3. Esempio 1

Un esempio di un tipico rapporto di prova, vedere la Figura 27.

Example of a test report

N°

According to pWPS

According to test result "bend test"
test result "....."

Manufacturer:

Purpose of the examination:

Form of product:

Base material:

Consumable:

Test temperature:

Table A.1 — Bend test in accordance with ISO 5173

Specimen N°/position	Type of test	Dimensions mm	Former diameter mm	Distance between rollers mm	Bend angle °	Original gauge length mm	Elongation %	Remark e.g. fracture appearance

Examiner or examining body:

.....

(name, date and signature)

Approved by:

.....

(name, date and signature)

Figura47- Esempio di rapporto di prova secondo ISO 9017.

1.1.1. Esempio 2

Alcune immagini relative alle diverse fasi di una prova di piegatura sono riportate nelle figure seguenti, vedi Figura 48.

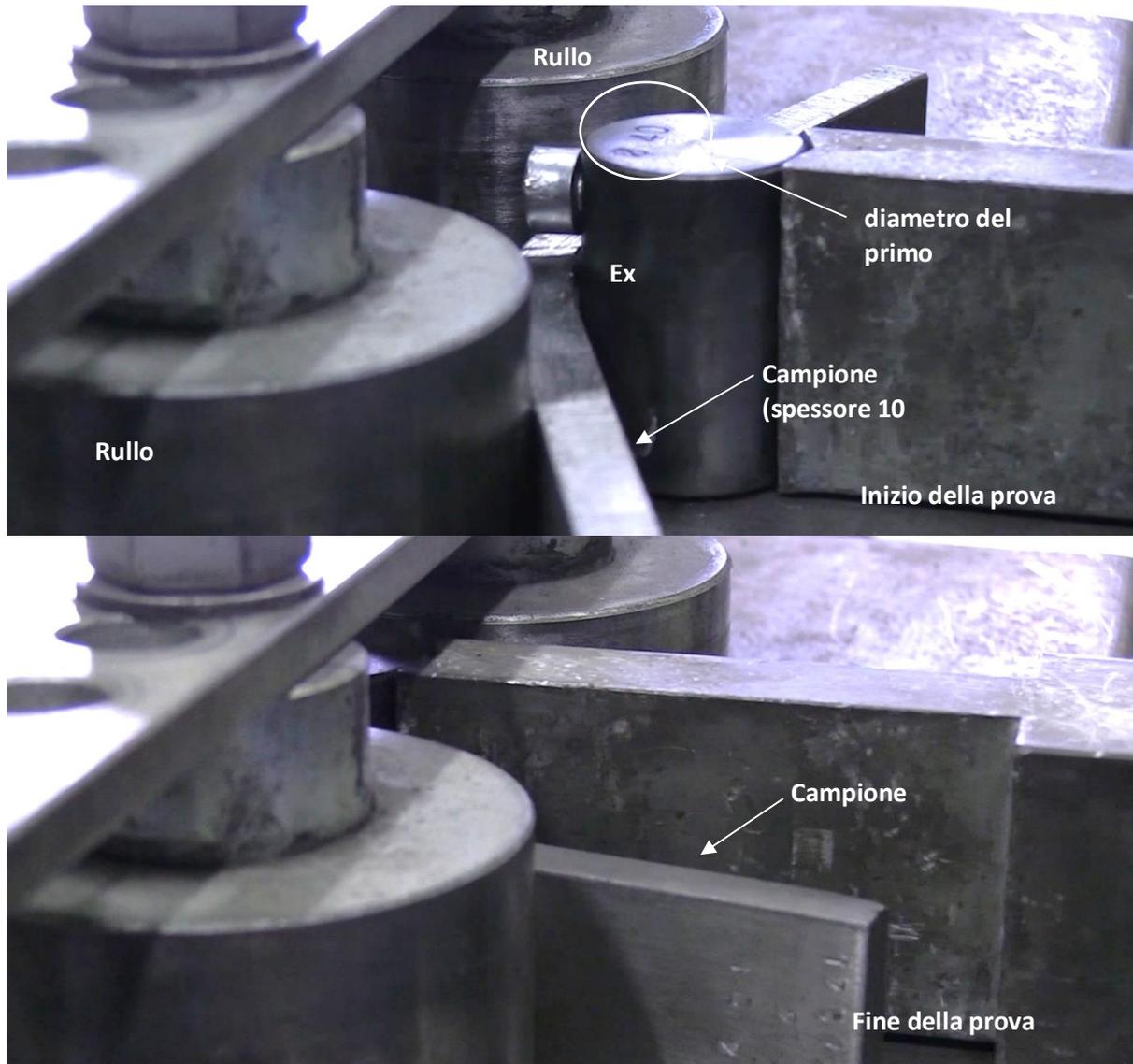


Figura48- Immagini del test di piegatura: inizio (in alto) e fine (in basso).

1.1.1. Esempio 3

Nelle immagini seguenti sono riportati due provini: un provino senza imperfezioni dopo il test (risultati accettabili secondo ISO 15614-1) e un provino non riuscito (risultati non accettabili secondo ISO 15614-1), vedi Figura 49.



Figura49- Immagini di risultato accettabile (nessuna imperfezione dopo il test, vedi immagine in alto) e risultato non accettabile (campione fallito: immagine in basso) secondo ISO 15614-1.

2.4. Prova Charpy di resistenza all'urto di metalli e giunti saldati

2.4.1. Prefazione

La prova d'urto è relativa a una prova in cui il provino si rompe istantaneamente a causa del carico dinamico causato dall'impatto di un peso in caduta; in questo capitolo verrà introdotto e discusso l'uso di un pendolo Charpy per rompere diversi tipi di provini. In particolare, il riferimento principale di questo capitolo è la ISO 148 che si concentra sui provini con intaglio a V e ad U e descrive il metodo per determinare la determinazione dell'energia assorbita in una prova di impatto di materiali metallici.

2.4.2. Riferimenti

- ISO 148-1 Materiali metallici - Prova di impatto con pendolo Charpy - Parte 1: Metodo di prova
- ISO 148-2 Materiali metallici - Prova d'urto con pendolo Charpy - Parte 2: Verifica delle macchine di prova
- ISO 148-3 Materiali metallici - Prova d'urto con pendolo Charpy - Parte 3: Preparazione e caratterizzazione di provette con intaglio a V Charpy per la verifica indiretta delle macchine ad impatto pendolare
- ISO 9016 - Prove distruttive su saldature in materiali metallici - Prove di impatto - Posizione del provino, orientamento ed esame dell'intaglio
- SEP 1670 Determinazione della temperatura di transizione fragile-duttile FATT e di altre proprietà caratteristiche
- ISO 286-1 Specifiche geometriche del prodotto (GPS) - Sistema di codici ISO per tolleranze su dimensioni lineari - Parte 1: Base di tolleranze, deviazioni e adattamenti

2.4.3. introduzione

Lo scopo della prova d'urto è determinare la resistenza all'urto di un materiale o di una saldatura attraverso la misurazione dell'energia spesa per rompere un provino intagliato. Tale risultato può essere correlato alla temperatura alla quale il provino viene testato, infatti i materiali metallici evidenziano un comportamento specifico rispetto alla temperatura di prova e in funzione della tipologia dei materiali (es. acciai ferritici) una curva di transizione della tenacità o vs. la temperatura può essere osservata.

La prova d'urto Charpy consiste nel rompere un provino intagliato con un solo colpo di un pendolo oscillante; la tacca nel pezzo di prova ha una geometria specificata e si trova nel mezzo tra due supporti, di fronte alla posizione che viene impattata nella prova. Normalmente si determinano l'energia assorbita nella prova d'urto, l'espansione laterale e l'aspetto della frattura per taglio.

Poiché i valori di impatto di molti materiali metallici variano con la temperatura, le prove devono essere eseguite a una temperatura specificata. Quando questa temperatura è diversa da quella ambiente, il provino deve essere riscaldato o raffreddato a tale temperatura, in condizioni controllate. Attraverso questi risultati si possono tracciare curve per osservare il comportamento di un materiale in funzione della temperatura; sono disponibili diversi metodi per adattare i dati sperimentali, pertanto, in questo capitolo, verrà esaminata e descritta la tecnica suggerita da SEP 1670.

Inoltre, la posizione e l'orientamento in cui viene prelevato un provino sono molto importanti e devono essere specificati nel rapporto di prova per correlare correttamente il risultato alla posizione specifica del provino. Inoltre, la posizione dell'intaglio è importante, nel caso di una saldatura, l'intaglio può essere posizionato in prossimità della linea di fusione, sul metallo saldato o nella zona interessata dal calore; pertanto i risultati ottenuti dalla stessa saldatura varieranno a seconda della posizione

dell'intaglio. La norma ISO 9016 aiuta ad individuare la posizione in cui viene prelevato un provino e in cui è posta la tacca rispetto alla saldatura.

Il test di impatto del pendolo Charpy viene spesso utilizzato nei test di accettazione pass/fail di routine ad alto rendimento in ambienti industriali. Per questi test, potrebbe non essere importante se il campione di prova è completamente rotto, parzialmente rotto o semplicemente deformato plasticamente e trascinato attraverso le incudini. In contesti di ricerca, progettazione o accademici, i valori di energia misurati vengono studiati in modo più dettagliato, nel qual caso può essere molto rilevante se il campione è rotto o meno.

È importante notare che non tutti i risultati dei test di impatto del pendolo Charpy possono essere confrontati direttamente. Ad esempio, la prova può essere eseguita con martelli aventi percussori di diverso raggio, o con diverse forme del provino. Prove eseguite con diversi percussori possono dare risultati diversi, così come risultati di prova ottenuti con provini di forma diversa. Ecco perché non solo l'aderenza alla ISO 148, ma anche una segnalazione chiara e completa del tipo di strumento, del campione e dei dettagli dei campioni post-test sono fondamentali per la comparabilità dei risultati.

Nella tabella seguente è riportato l'elenco dei termini adottati nella ISO 148-1 insieme alle loro descrizioni e all'unità (vedi Tabella 11).

In Figura 50 è riportato uno schizzo di un pendolo Charpy con l'immagine di un pendolo in un laboratorio mentre in Figura 51 la terminologia del provino che mostra la configurazione dei supporti del provino e delle incudini di una macchina per prove d'urto a pendolo.

Termine	Unità	Descrizione
<i>W</i>	mm	spessore del provino
<i>H</i>	mm	larghezza del pezzo di prova
<i>l</i>	mm	lunghezza del pezzo di prova
<i>a</i>	°	angolo di caduta del pendolo
β_1	J o °	angolo di sollevamento quando la macchina viene utilizzata in modo normale senza il pezzo di prova in posizione
<i>b2</i>	J o °	angolo di salita quando la macchina viene azionata nel modo normale senza un pezzo di prova in posizione e senza reimpostare il meccanismo di indicazione
<i>LE</i>	mm	espansione laterale
<i>K</i>	J o °	energia assorbita (espressa come KV2, KV8, KU2, KU8, per identificare specifiche geometrie dell'intaglio e il raggio del bordo battente)
<i>K1</i>	J o °	energia assorbita indicata quando la macchina viene utilizzata in modo normale senza un pezzo di prova in posizione
<i>K2</i>	J o °	energia assorbita indicata quando la macchina viene azionata nel modo normale senza un pezzo di prova in posizione e senza resettare il meccanismo di indicazione
<i>KN</i>	J	energia potenziale iniziale nominale (energia assegnata dal produttore della macchina per prove d'urto a pendolo)
<i>Kp</i>	J	energia potenziale iniziale (energia potenziale)
<i>KV2</i>	J	energia assorbita per un pezzo di prova con intaglio a V utilizzando un percussore da 2 mm
<i>KV8</i>	J	energia assorbita per un pezzo di prova con intaglio a V utilizzando un percussore da 8 mm
<i>KU2</i>	J	energia assorbita per un pezzo di prova con intaglio a U utilizzando un percussore da 2 mm
<i>KU8</i>	J	energia assorbita per un pezzo di prova con intaglio a U utilizzando un percussore da 8 mm
<i>F</i>	N	Forza relativa al peso del peso in caduta (martello)

l_2	N	Lunghezza del danno a cui è collegato il peso in caduta
M	N·m	Momento uguale al prodotto F· l_2
P	J	perdita di energia assorbita causata dall'attrito del puntatore
P'	J	perdita di energia assorbita causata dall'attrito del cuscinetto e dalla resistenza dell'aria
$p\beta$	J	correzione delle perdite di energia assorbita per un angolo di salita β
SFA	%	aspetto della frattura da taglio
T	°C	temperatura di transizione
Tt_{27}	°C	temperatura di transizione definita ad un determinato valore di energia assorbita; ad esempio, 27 J
$Tt_{50\% USA}$	°C	temperatura di transizione definita ad una particolare percentuale dell'energia assorbita dal ripiano superiore; ad esempio, 50%
$Tt_{50\% SFA}$	°C	temperatura di transizione definita ad una particolare proporzione di frattura da taglio; ad esempio, 50%
$Tt_{0,9}$	°C	temperatura di transizione definita a una particolare quantità di espansione laterale; ad esempio 0,9 mm

Tavolo11- Elenco di termini e definizioni tratti dalla ISO 148-1.

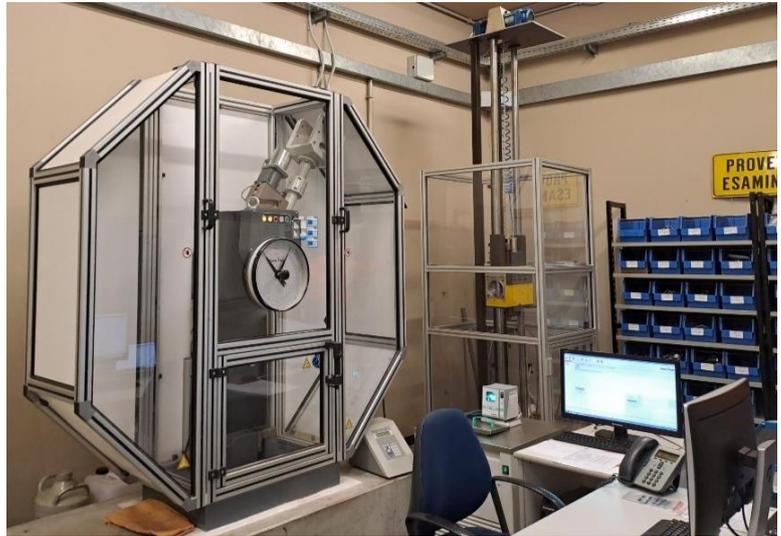
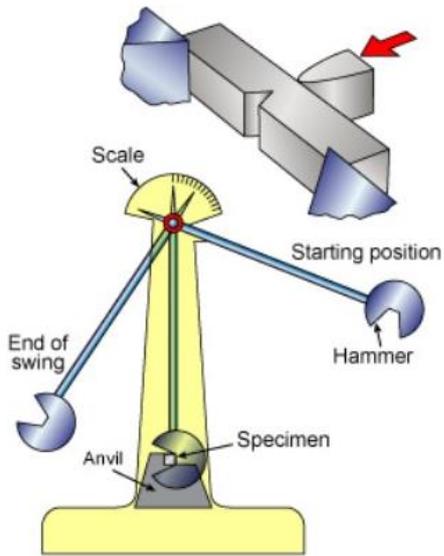
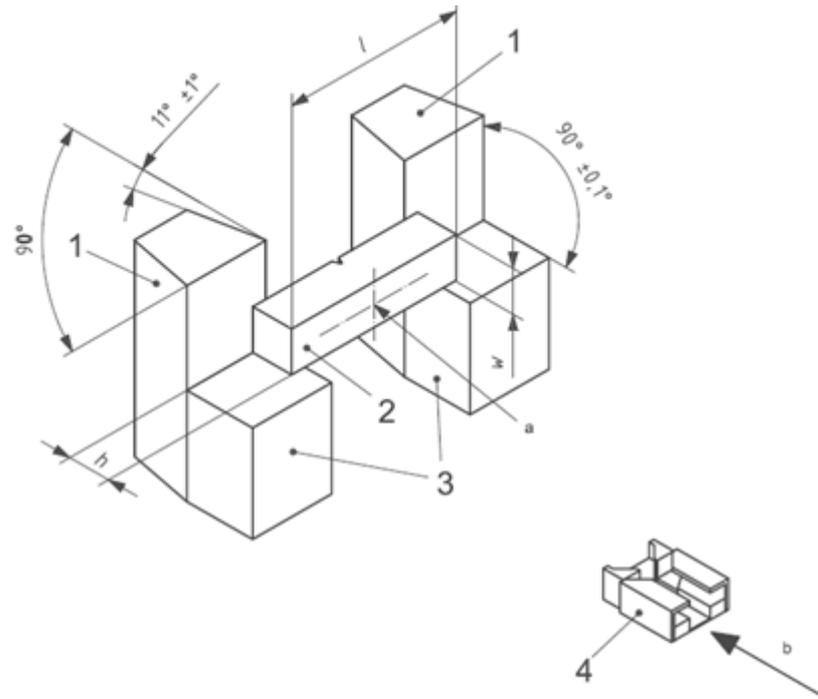


Figura50- Schizzo di un pendolo Charpy (a sinistra) e immagine di un pendolo in laboratorio (a destra, per gentile concessione di IIS).



Key

- 1 anvil
 - 2 standard-sized test piece
 - 3 test piece supports
 - 4 shroud
-
- h* height of test piece
 - l* length of test piece
 - w* width of test piece
 - a* Centre of strike.
 - b* Direction of pendulum swing.



Figura51- In alto: terminologia del provino che mostra la configurazione dei supporti del provino e delle incudini di una macchina per prove d'urto a pendolo; in basso: immagine delle incudini portanti con provino montato prima dell'impatto con il martello (la freccia bianca indica la direzione e il lato dell'impatto sul provino).



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



1.1.1. Campioni di prova

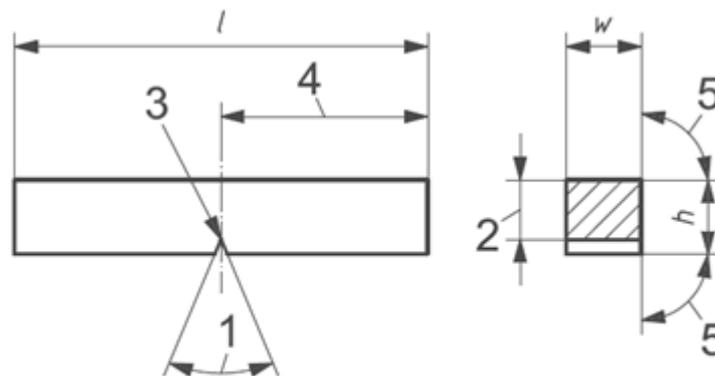
Il provino standard per la prova d'urto secondo ISO 148-1 è lungo 55 mm e ha una sezione quadrata di 10 x 10 mm: al centro della lunghezza deve essere presente un intaglio a V o un intaglio a U. L'intaglio a V deve avere un angolo incluso di 45°, una profondità di 2 mm e un raggio di radice di 0,25 mm mentre l'intaglio a U deve avere una profondità di 5 mm (se non diversamente specificato) e un raggio di radice di 1 mm (vedi Figura 52 e Tabella 12). Nella Figura 53 la misura del raggio della radice su un intaglio a V viene eseguita tramite il software di un microscopio ottico.

Se il provino standard non può essere ottenuto dal materiale, si deve utilizzare uno dei provini sottodimensionati, con uno spessore di 7,5 mm, 5 mm o 2,5 mm (cfr. figura 51 e tabella 12), se non altrimenti specificato. Notare che il confronto diretto dei risultati è significativo solo se effettuato tra provette della stessa forma e dimensioni. Inoltre, per le basse energie, l'uso di spessori per posizionare meglio i provini sottodimensionati rispetto al centro di urto è importante per evitare un eccessivo assorbimento di energia da parte del pendolo. Per le alte energie, questo potrebbe non essere così importante. Gli spessori possono essere posizionati sopra o sotto i supporti del provino, con il risultato che lo spessore medio del provino è di 5 mm al di sopra dei supporti di 10 mm. Gli spessori possono essere temporaneamente fissati ai supporti mediante nastro o altro mezzo.

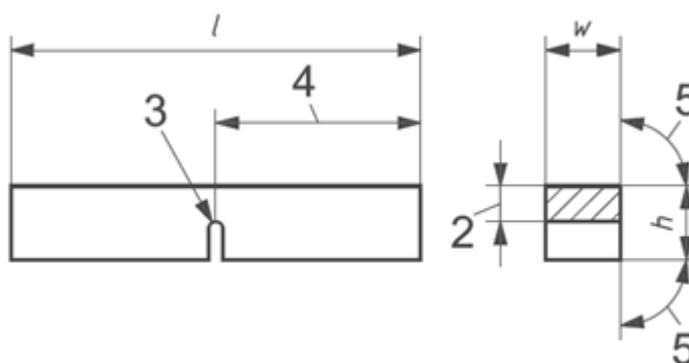
Quando si valuta un materiale trattato termicamente, il pezzo di prova deve essere lavorato a macchina e intagliato dopo il trattamento termico finale, a meno che non si possa dimostrare che la lavorazione prima del trattamento termico non influisce sui risultati della prova.

La preparazione deve essere eseguita in modo tale da ridurre al minimo qualsiasi alterazione del provino, ad esempio a causa del riscaldamento o della lavorazione a freddo; il provino può essere marcato su qualsiasi faccia non a contatto con supporti, incudini o percussore e in una posizione in cui la deformazione plastica e le discontinuità superficiali causate dalla marcatura non influiscano sull'energia assorbita.

Il pezzo di prova può essere lavorato a macchina da un materiale di base (ad es. una piastra o un pezzo) o da una saldatura; in quest'ultimo caso, deve essere applicata la norma ISO 9016 per identificare correttamente il punto in cui i provini vengono estratti dalla saldatura e l'esatta posizione dell'intaglio con riferimento alla zona termicamente alterata, al metallo saldato, alla calotta o alla radice della saldatura.



a) V-notch geometry



b) U-notch geometry

Figura52- Provino d'urto con pendolo Charpy; Per i simboli L, W, B e i numeri da 1 a 5, vedere la Tabella 12.

Designazione	Simbolo e n.	Provino con intaglio a V			Provino con intaglio a U		
		Dimensione nominale	Tolleranza di lavorazione	Classe di tolleranza	Dimensione nominale	Tolleranza di lavorazione	Classe di tolleranza
Lunghezza	<i>l</i>	55 mm	±0,60 mm	js15	55 mm	±0,60 mm	js15
Larghezza	<i>H</i>	10mm	±0,075 mm	js12	10mm	±0,11 mm	js13
Spessore <i>c</i>	<i>W</i>						
<ul style="list-style-type: none"> • provino standard • pezzo di prova sottodimensionato • pezzo di prova sottodimensionato • pezzo di prova sottodimensionato 		10mm	±0,11 mm	js13	10mm	±0,11 mm	js13
		7,5 mm	±0,11 mm	js13	7,5 mm	±0,11 mm	---
		5mm	±0,06 mm	js12	5mm	±0,06 mm	---
		2,5 mm	±0,05 mm	js12	---	---	---
Angolo di tacca	1	45°	±2°	---	---	---	---
Legamento	2	8mm	±0,075 mm	js12	5mm	±0,09 mm	js13
Raggio di tacca	3	0,25 mm	±0,025 mm	---	1mm	±0,07 mm	js12
Posizione della tacca (centatura)	4	27,5 mm	± 0,42 mmd	js15	27,5 mm	± 0,42 mmd	js15
Angolo tra il piano di simmetria dell'intaglio e l'asse longitudinale del provino		90°	±2°	---	90°	±2°	---
Angolo tra facce longitudinali adiacenti del provino	5	90°	±2°	---	90°	±2°	---
rugosità superficiale <i>b</i>	N / A	< 5 μm	---	---	< 5 μm	---	---

^{UN}In conformità alla norma ISO 286-1,

^{el}I provini devono avere una rugosità superficiale migliore di Ra 5 μm ad eccezione delle estremità,

^cSe viene specificato un altro spessore (2 mm o 3 mm), devono essere specificate anche le tolleranze corrispondenti.

^dPer le macchine con posizionamento automatico del pezzo di prova, si consiglia di assumere la tolleranza $\pm 0,165$ mm anziché $\pm 0,42$ mm,

Tavolo12- Tolleranze sulle dimensioni del pezzo di prova specificate.

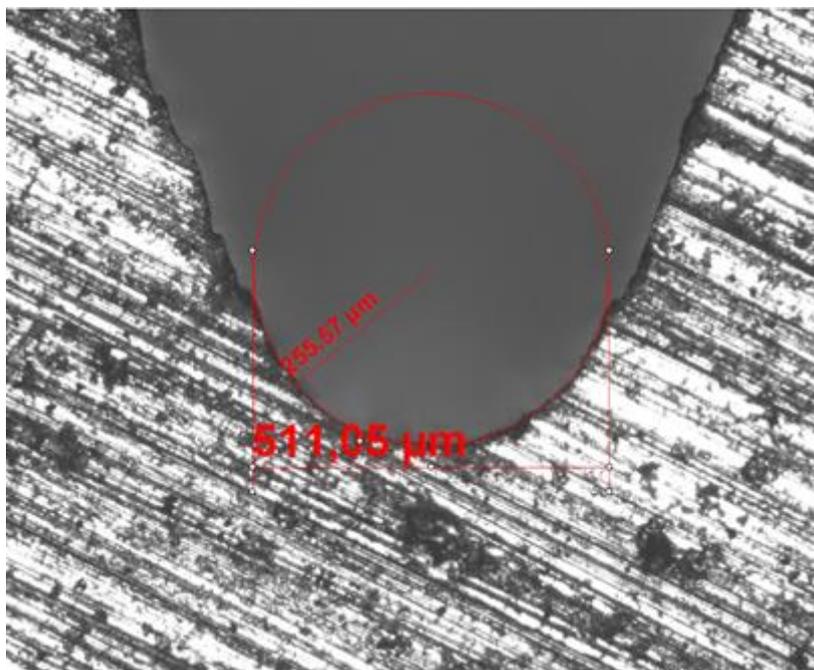


Figura53- Verifica del raggio dell'intaglio mediante microscopio ottico.

1.1.1. Procedura di prova

Le misurazioni dello strumento e i dettagli del provino devono essere riconducibili a standard nazionali o internazionali. Le apparecchiature utilizzate per le misurazioni devono essere tarate entro intervalli adeguati (la macchina di prova deve essere installata e verificata in conformità alla norma ISO 148-2).

La geometria del percussore deve essere specificata come percussore da 2 mm o percussore da 8 mm. Si consiglia di mostrare il raggio sull'attaccante come pedice come segue: KV2 o KV8 e KU2 o KU8. Fare riferimento alla specifica del prodotto per la guida sulla geometria dell'incontro (Nota: i test eseguiti con gli incontri da 2 mm e 8 mm possono dare risultati diversi, vedere ISO 148-1).

Se non diversamente specificato, le prove devono essere eseguite a $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ (temperatura ambiente); se è specificata una temperatura, la provetta deve essere condizionata a una temperatura compresa entro $\pm 2\text{ °C}$. Per il condizionamento (riscaldamento o raffreddamento) utilizzando un mezzo liquido, il campione deve essere posizionato in un contenitore su una griglia che sia almeno 25 mm al di sopra del fondo del contenitore e coperto da almeno 25 mm di liquido, ed essere almeno 10 mm dai lati del contenitore; il mezzo deve essere costantemente agitato e portato alla temperatura specificata con qualsiasi metodo conveniente.

Quando un mezzo liquido è vicino al suo punto di ebollizione, il raffreddamento per evaporazione può abbassare drasticamente la temperatura del provino durante l'intervallo tra la rimozione dal liquido e la frattura. Per il condizionamento (riscaldamento o raffreddamento) mediante un mezzo gassoso, la provetta deve essere posizionata in una camera ad almeno 50 mm dalla superficie più vicina. I singoli provini devono essere separati di almeno 10 mm. Il mezzo deve essere costantemente fatto circolare e portato alla temperatura specificata con qualsiasi metodo conveniente; il dispositivo utilizzato per misurare la temperatura del mezzo deve essere posizionato al centro del gruppo di provette, la temperatura del mezzo gassoso deve essere mantenuta alla temperatura specificata entro ± 1 °C per almeno 30 minuti prima della provetta viene rimosso dal mezzo per il test.

Sono consentiti altri metodi di riscaldamento o raffreddamento, se sono soddisfatti gli altri requisiti pertinenti (sopra citati).

Quando la prova viene eseguita a una temperatura diversa da quella ambiente, non devono trascorrere più di 5 s tra il momento in cui il provino viene rimosso dal mezzo di riscaldamento o raffreddamento e il momento in cui viene colpito dal percussore. Viene fatta un'eccezione se la differenza tra la temperatura ambiente o dello strumento e la temperatura del provino è inferiore a 25 °C, nel qual caso il tempo per il trasferimento del campione deve essere inferiore a 10 s. Il dispositivo di trasferimento deve essere progettato e utilizzato in modo tale che la temperatura del provino sia mantenuta entro l'intervallo di temperatura consentito. Le parti del dispositivo a contatto con il campione durante il trasferimento dal mezzo alla macchina devono essere condizionate con i campioni.

Occorre prestare attenzione per garantire che il dispositivo utilizzato per centrare il provino sulle incudini non provochi il rimbalzo del dispositivo nel pendolo delle estremità fratturate dei provini a bassa energia e ad alta resistenza. Questa interazione pendolo/provino si traduce in un'energia indicata erroneamente elevata. È stato dimostrato che il gioco tra l'estremità di un provino nella posizione di prova e il dispositivo di centraggio, o una parte fissa della macchina, deve essere uguale o superiore a 13 mm per evitare che le estremità dei provini rimbalzino nel pendolo durante la prova.

Le pinze autocentranti, simili a quelle mostrate nella Figura 54 per i provini con intaglio a V, sono spesso utilizzate per

trasferire il provino dal mezzo termocondizionatore alle opportune posizioni di prova; tenaglie di questo tipo eliminano i potenziali problemi di gioco dovuti all'interferenza tra le metà del provino fratturate e un dispositivo di centraggio fisso.

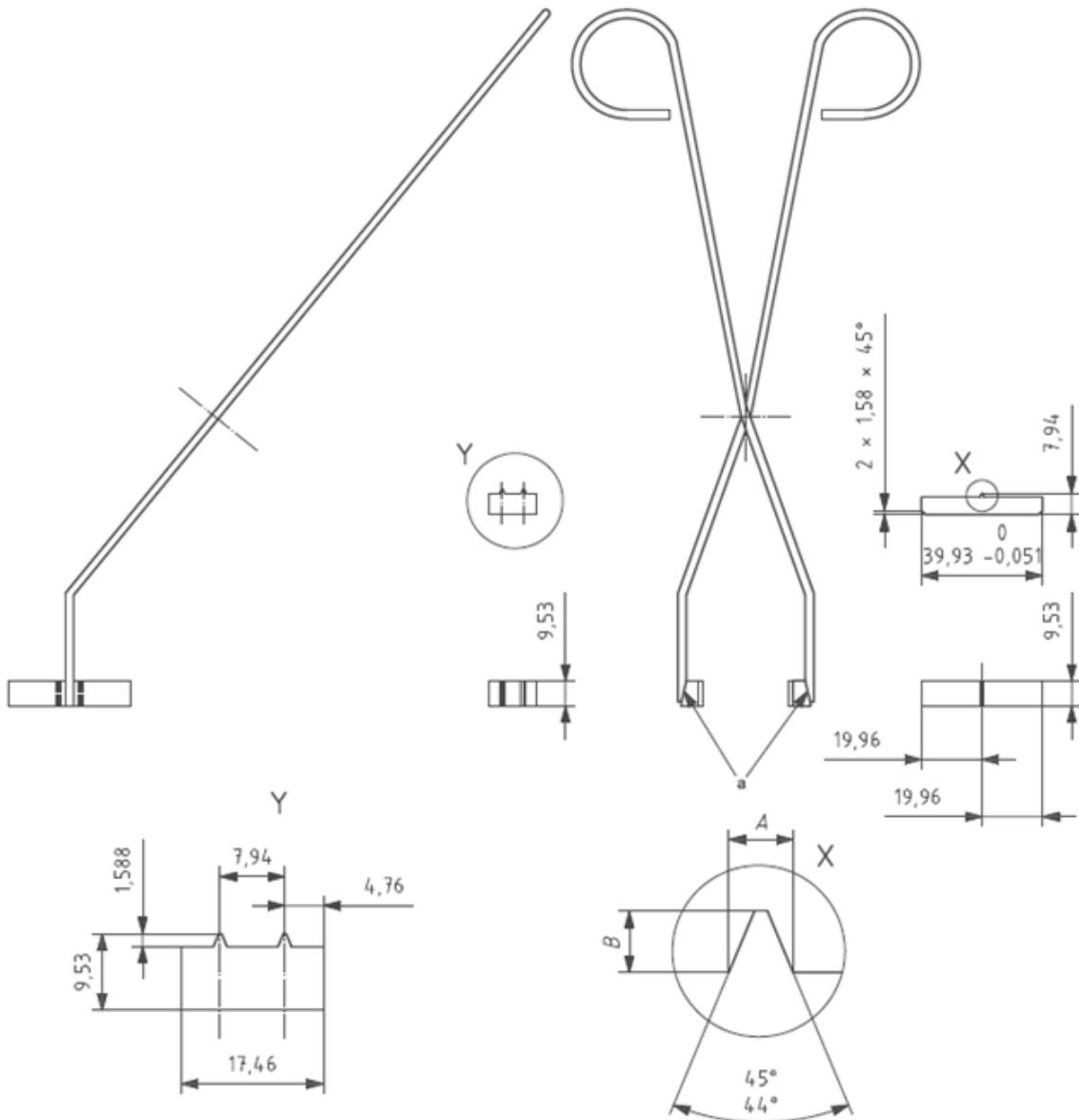
L'energia assorbita, K , non deve superare l'80 % dell'energia potenziale iniziale, K_p . Se l'energia assorbita supera questo valore, l'energia assorbita deve essere indicata come approssimativa e deve essere annotata nel rapporto di prova come superiore all'80% della capacità della macchina. Idealmente, un test di impatto dovrebbe essere condotto a una velocità di impatto costante. In un test del tipo a pendolo, la velocità diminuisce con il progredire della frattura. Per i campioni con energie di impatto che si avvicinano alla capacità del pendolo, la velocità del pendolo diminuisce durante la frattura al punto che non si ottengono più energie di impatto precise.

I pezzi di prova non si rompono sempre in due pezzi durante il test; per i test di accettazione del materiale, non è necessario riportare informazioni relative alla frattura incompleta. Per i test, diversi dai test di accettazione dei materiali, è richiesto che i pezzi di prova intatti siano riportati.

Nel caso in cui i singoli campioni non siano identificati all'interno dei registri di prova, il gruppo può essere identificato come rotto o intatto. Un provino che non è completamente separato in due semiprovini all'impatto può essere considerato rotto se le due metà possono essere separate spingendo insieme le metà incernierate senza l'ausilio di strumenti meccanici e senza affaticare il provino. Un test di accettazione materiale è un test che viene utilizzato per valutare un requisito minimo di accettazione.

Se un pezzo di prova si inceppa nella macchina, i risultati devono essere ignorati e la macchina deve essere accuratamente controllata per danni che potrebbero influire sul suo stato di calibrazione. L'inceppamento delle banconote si verifica quando un pezzo di prova rotto rimane intrappolato tra parti mobili e non mobili della macchina di prova. Può comportare un notevole assorbimento di energia. L'inceppamento può essere differenziato dai segni di colpi secondari, perché l'inceppamento è associato a una coppia di segni opposti sul campione.

Dimensions in millimetres



Specimen width	Base width <i>A</i>	Height <i>B</i>
10	1,60 to 1,70	1,52 to 1,65
5	0,74 to 0,80	0,69 to 0,81
3	0,45 to 0,51	0,36 to 0,48

^a Steel pieces silver-soldered to tongs parallel to each other.

Figura54- Pinza di centraggio per campioni Charpy con intaglio a V.

2.4.4. Risultato del test

Se l'ispezione post-frattura mostra che qualsiasi parte della marcatura di identificazione del provino si trova in una parte del provino che è visibilmente deformata, il risultato del test potrebbe non essere rappresentativo del materiale e ciò deve essere annotato nel rapporto di prova.

Una misura della capacità del materiale di resistere alla frattura quando sottoposto a sollecitazioni triassiali, come quelle alla radice dell'intaglio in un provino Charpy, è la quantità di deformazione che si verifica in questa posizione (in questo caso: contrazione). A causa delle difficoltà nel misurare questa deformazione, anche dopo la frattura, l'espansione che si verifica all'estremità opposta del piano di frattura viene abitualmente misurata e utilizzata come proxy per la contrazione.

Il metodo di misurazione dell'espansione laterale (LE) dovrebbe considerare il fatto che il piano di frattura raramente biseca il punto di massima espansione su entrambi i lati di un provino. Una metà di un provino rotto potrebbe includere la massima espansione per entrambi i lati, solo un lato o nessuno dei due; le tecniche utilizzate dovrebbero quindi fornire un valore di dilatazione, pari alla somma del maggiore dei due valori ottenuti per ciascun lato, misurando separatamente le due metà. L'entità dell'espansione su ciascun lato di ciascuna metà deve essere misurata rispetto al piano definito dalla parte non deformata del lato del provino (cfr. figura 57). Per queste misurazioni possono essere utilizzati metodi di contatto e senza contatto. L'espansione laterale può essere misurata utilizzando un calibro simile a quello mostrato nelle figure 55 e 56; misurare le due metà rotte singolarmente. Prima, però, controllare i lati perpendicolari all'intaglio per assicurarsi che non si siano formate bave su questi lati durante la prova di impatto; se tali bave esistono, devono essere rimosse, ad esempio strofinando con tela smeriglio, facendo attenzione che le sporgenze da misurare non vengano strofinate durante l'asportazione della bava. Successivamente, posiziona i semicampioni insieme in modo che le superfici originariamente opposte alla tacca siano una di fronte all'altra. Prendere uno dei mezzi provini (vedi Figura 55) e premerlo saldamente contro i supporti di riferimento, con le sporgenze contro l'incudine del calibro. Annotare la lettura, quindi ripetere questo passaggio con l'altro mezzo campione (vedere Figura 55), assicurandosi che venga misurato lo stesso lato; il più grande dei due valori è l'espansione di quel lato del provino rotto. Ripetere questa procedura per misurare le sporgenze sul lato opposto, e quindi sommare i valori maggiori ottenuti per ciascun lato. Ad esempio, se $A1 > A2$ e $A3 = A4$, di conseguenza $LE = A1 + (A3 \text{ o } A4)$. Se $A1 > A2$ e $A3 > A4$, di conseguenza, $LE = A1 + A3$. Se una o più sporgenze di un provino sono state danneggiate dal contatto con l'incudine, la

superficie di montaggio della macchina, ecc., il provino non deve essere misurato e le condizioni devono essere indicate nel rapporto di prova.

La superficie di frattura dei provini Charpy è spesso valutata in base alla percentuale di frattura da taglio che si verifica. Maggiore è la percentuale di frattura da taglio, maggiore è la tenacità ad intaglio del materiale. La superficie di frattura della maggior parte dei campioni di Charpy mostra una miscela di regioni di frattura piatte e di taglio. Si presume che le regioni di taglio siano completamente duttili, ma le regioni di frattura piatte possono essere duttili, fragili o una combinazione di queste modalità di frattura. Poiché la classificazione è estremamente soggettiva, si consiglia di non utilizzarla nelle specifiche. NOTA Il termine aspetto di frattura fibrosa è spesso usato come sinonimo di aspetto di frattura da taglio. I termini aspetto della frattura da scissione e cristallinità sono spesso usati per esprimere l'opposto della frattura da taglio.

La percentuale di frattura da taglio è comunemente determinata mediante uno dei seguenti metodi:

- A. misurare la lunghezza e la larghezza della porzione di clivaggio (la porzione "lucida") della regione di frattura piatta, come indicato nella Figura 57, e determinare la percentuale di taglio dalla Tabella 13;
- B. confrontare l'aspetto della frattura del provino con un grafico dell'aspetto della frattura, come quello fornito nelle Figure 58 e 59;
- C. ingrandendo la superficie della frattura e confrontandola con un grafico di sovrapposizione ricalibrato, o misurando la percentuale di frattura da scissione mediante un planimetro, quindi calcolando la percentuale di frattura da taglio (come frattura da scissione al 100%);
- D. fotografare la superficie della frattura ad un ingrandimento adeguato e misurare la percentuale di frattura da clivaggio mediante un planimetro, quindi calcolare la percentuale di frattura da taglio (come frattura da clivaggio al 100%);
- E. misurare la percentuale di frattura da taglio mediante tecniche di analisi delle immagini.

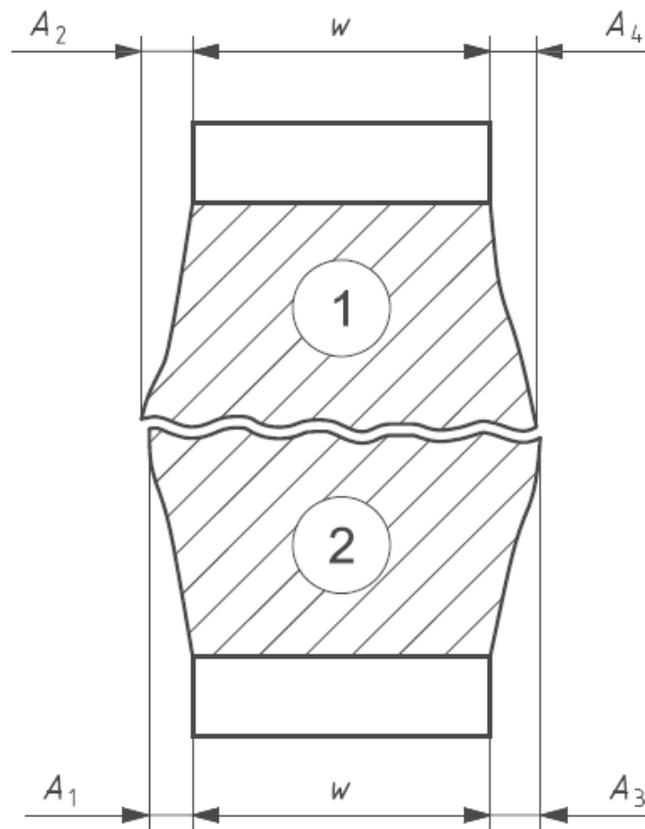


Figura55- Metà del campione d'urto con intaglio a V Charpy rotto, che illustra la misurazione dell'espansione laterale, dimensioni A1, A2, A3, A4 e la larghezza originale, dimensione W. Notare che le metà sono numerate 1 e 2.

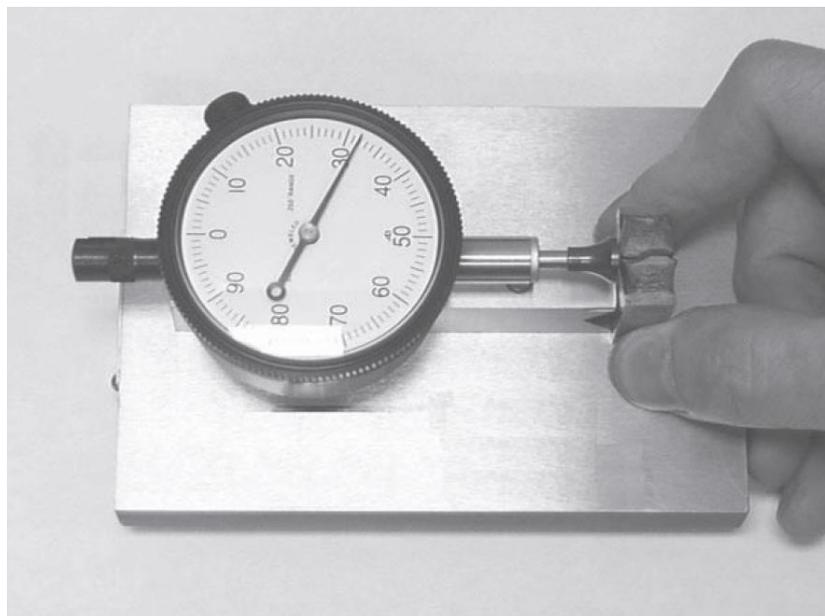
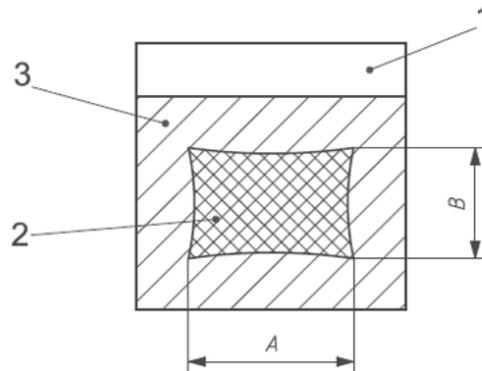


Figura56- Calibro ad espansione laterale per provini Charpy (per il montaggio ei dettagli del calibro vedi ISO 148-1).



Key

- 1 notch
- 2 cleavage area (brittle)
- 3 shear area (dull)

NOTE 1 Measure average dimensions *A* and *B* to the nearest 0,5 mm.

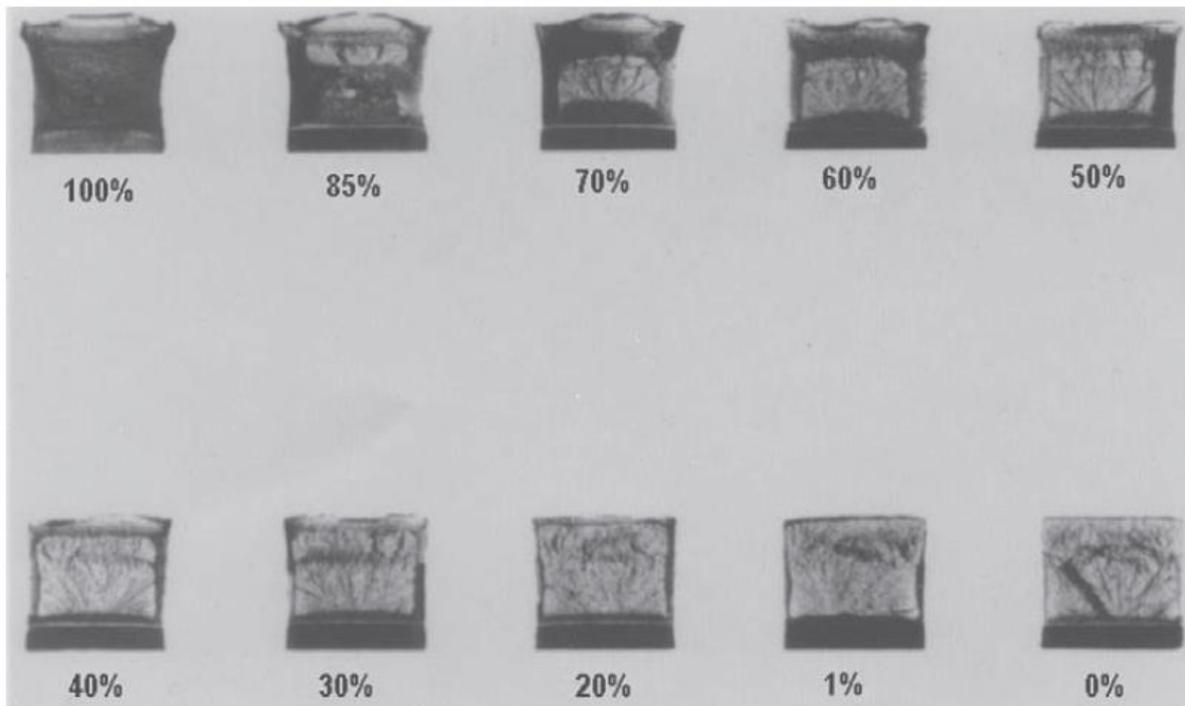
NOTE 2 Determine the per cent shear fracture using Table 3

Figura57- Determinazione della percentuale di frattura da taglio.

B [mm]	UN [mm]																		
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10
Percentuale di taglio																			
1,0	99	98	98	97	96	96	95	94	94	93	92	92	91	91	90	89	89	88	88
1,5	98	97	96	95	94	93	92	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81
2,0	98	96	95	94	92	91	90	89	88	86	85	84	82	81	80	79	77	76	75
2,5	97	95	94	92	91	89	88	86	84	83	81	80	78	77	75	73	72	70	69
3,0	96	94	92	91	89	87	85	83	81	79	77	76	74	72	70	68	66	64	62
3,5	96	93	91	89	87	85	82	80	78	76	74	72	69	67	65	63	61	58	56
4,0	95	92	90	88	85	82	80	77	75	72	70	67	65	62	60	57	55	52	50
4,5	94	92	89	86	83	80	77	75	72	69	66	63	61	58	55	52	49	46	44
5,0	94	91	88	85	81	78	75	72	69	66	62	59	56	53	50	47	44	41	37
5,5	93	90	86	83	79	76	72	69	66	62	59	55	52	48	45	42	38	35	31
6,0	92	89	85	81	77	74	70	66	62	59	55	51	47	44	40	36	33	29	25
6,5	92	88	84	80	76	72	67	63	59	55	51	47	43	39	35	31	27	23	19
7,0	91	87	82	78	74	69	65	61	56	52	47	43	39	34	30	26	21	17	12
7,5	91	86	81	77	72	67	62	58	53	48	44	39	34	30	25	20	16	11	6
8,0	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0

Il taglio al 100% deve essere segnalato quando A o B è zero

Tavolo13- Taglio percentuale per misure in millimetri.



a) Fracture appearance charts and per cent shear fracture comparator



b) Guide for estimating fracture appearance

Figura58- Aspetto della frattura.

1.1.1. Rapporto di prova

Elenco delle informazioni obbligatorie che devono essere contenute nel rapporto di prova:

- A. riferimento al metodo di prova standard (ISO 148-1);
- B. identificazione del provino (es. tipo di acciaio e numero di colata);
- C. dimensione della provetta, se diversa dalla provetta standard;
- D. temperatura della prova o temperatura di condizionamento dei provini;
- E. energia assorbita, KV2, KV8, KU2 o KU8, a seconda dei casi;
- F. 0 se il provino o la maggior parte dei provini in un gruppo di provini erano rotti (non richiesto per i test di accettazione del materiale);
- G. eventuali anomalie che potrebbero aver influenzato il test.

Informazioni opzionali:

- A. orientamento del pezzo di prova (vedi ISO 3785)
- B. energia potenziale iniziale della macchina di prova, in joule;
- C. espansione laterale
- D. aspetto della frattura da taglio;
- E. curva energia assorbita/temperatura (vedi esempi);
- F. curva di espansione laterale/temperatura;
- G. aspetto della frattura da taglio/curva della temperatura;
- H. temperatura di transizione e criteri utilizzati per la sua (loro) determinazione;
- I. numero di provette che non sono state completamente rotte durante la prova;
- J. data (mese e anno) delle più recenti verifiche complete dirette e indirette;
- K. incertezza di misura dell'energia assorbita (vedi capitolo sull'incertezza)

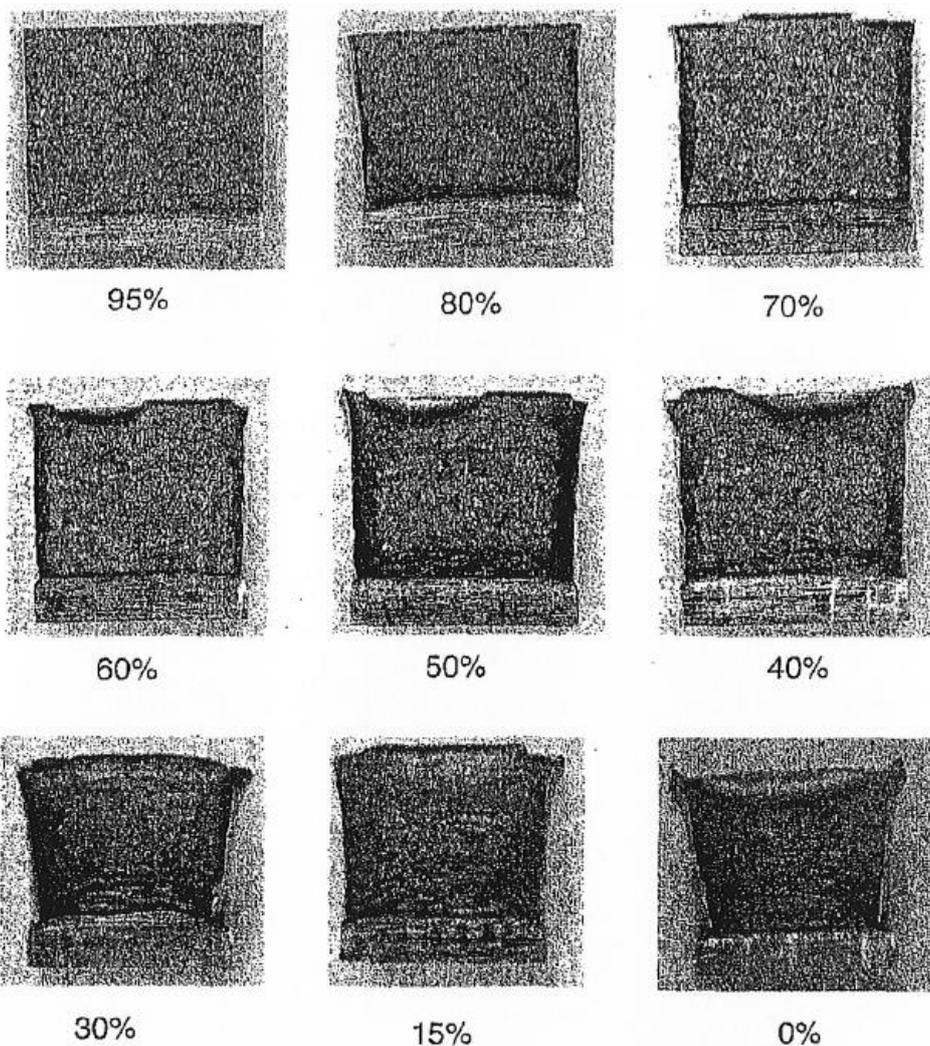


Figura59- Aspetto della frattura; percentuale di cristallino (area fragile; immagine tratta da SEP 1670).

2.4.5. Esempio 1

La curva energia/temperatura assorbita (curva KV/T) mostra l'energia assorbita in funzione della temperatura di prova per un dato tipo di provino vedi Figura 60. In generale, la curva è ottenuta disegnando una curva fitta attraverso i singoli valori. La forma della curva e la dispersione dei valori di prova dipendono dal materiale, dalla forma del provino e dalla velocità di impatto. Nel caso di una curva con una zona di transizione da duttile a fragile, si distingue tra zona di scaffale superiore, zona di transizione e zona di scaffale inferiore.

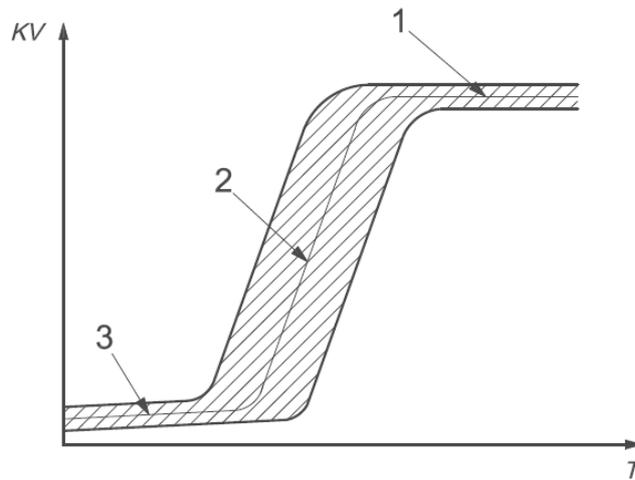
La temperatura di transizione, T_t , caratterizza la posizione del forte aumento della curva energia/temperatura assorbita. Poiché il forte aumento di solito si estende su un intervallo di temperatura abbastanza ampio, non può esserci una definizione generalmente applicabile della temperatura di transizione. I seguenti criteri sono stati trovati utili, tra gli altri, per determinare la temperatura di transizione:

La temperatura di transizione, T_t , è la temperatura alla quale

- A. si raggiunge un particolare valore di energia assorbita, es. $KV8 = 27 \text{ J}$,
- B. viene raggiunta una percentuale particolare dell'energia assorbita del valore di livello superiore, ad esempio il 50 %,
- C. si verifica una particolare porzione di frattura da taglio, ad esempio il 50 %, e
- D. si raggiunge un certo grado di espansione laterale, ad es. 0,9 mm.

La scelta del metodo utilizzato per definire la temperatura di transizione dovrebbe essere specificata nella norma o nella specifica del prodotto o mediante accordo.

Lo standard SEP 1670 potrebbe prendere come esempio per eseguire un adattamento dei punti dati sperimentali e per selezionare la temperatura di prova appropriata per ottenere una curva di transizione. Tale standard considera la % cristallina (area fragile in percentuale) per determinare il FATT50 (temperatura di transizione di comparsa della frattura al 50% del cristallino) o altro FATT sulla curva di transizione (vedi Figura 61); SEP 1670 fornisce anche un piano di test con il numero di campioni da testare a ciascuna temperatura (vedere Figura 62).



- Key**
- T temperature
 - KV absorbed energy
 - 1 upper-shelf zone
 - 2 transition zone
 - 3 lower-shelf zone

Figura60- Curva energia assorbita/temperatura rappresentata schematicamente.

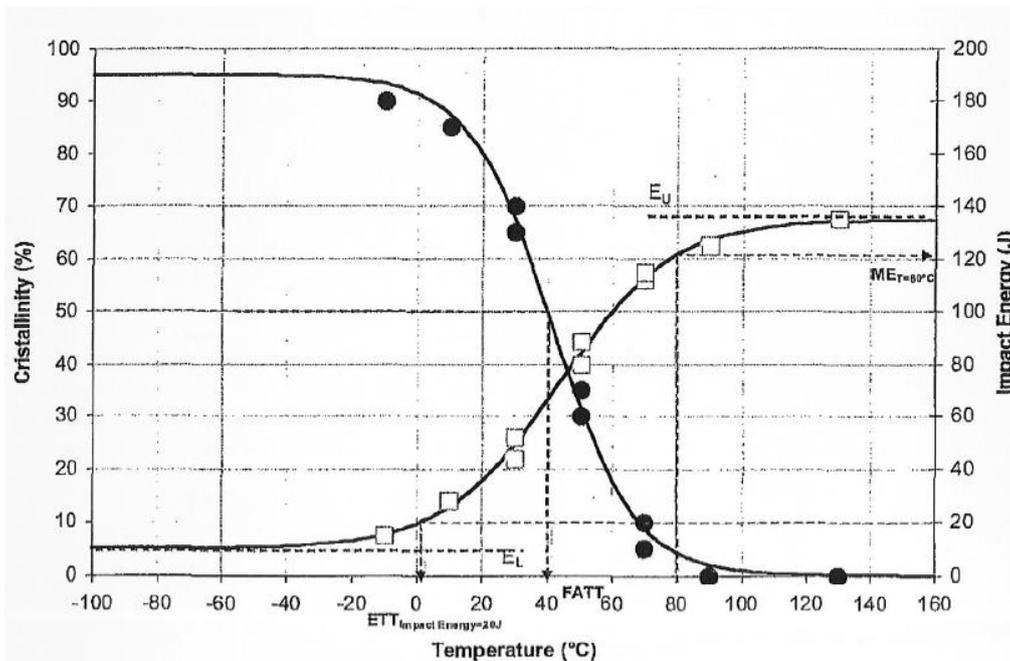


Figura61- Grafico che illustra il principio per la determinazione dei valori caratteristici dalle curve di compensazione (frazione di frattura fragile ed energia di impatto di intaglio in funzione della temperatura); nota E_U è l'energia assorbita dallo scaffale superiore, E_L è l'energia assorbita dallo scaffale inferiore e $MET=80^\circ C$ è l'energia d'urto a $80^\circ C$, $ETT_{Impact\ Energy=20J}$ è la temperatura a 20 J di energia assorbita e $FATT$ è la temperatura al 50% di cristallinità.



Temperature in °C	Number of samples
T_{start}	1
$T_{start} - 20\text{ °C}$	2
$T_{start} - 40\text{ °C}$	1
$T_{start} - 60\text{ °C}$	1
$T_{start} + 20\text{ °C}$	2
$T_{start} + 40\text{ °C}$	1
$T_{start} + 80\text{ °C}$	1
T freely selectable	1

Figura62- SEP 1670 fornisce anche un piano di test con il numero di campioni da testare a ciascuna temperatura.

1.1.1. Esempio 2

Campione di prova prelevato da una saldatura di testa con una lunghezza di esame di 40 mm e uno spessore di esame di 10 mm.

Senza alcun requisito di intaglio e metodo di prova:

- Denominazione di base: BW / (Lf af)
- Per questo esempio: BW / [40 · 10)

Con requisito aggiuntivo (intaglio a faccia quadrata e metodo di prova):

- Denominazione complessiva: BW / (Lf af)/ Sr (Vedi Figura 55)
- Per questo esempio: BW / [40 · 10) / Sr (Vedi Figura 55)

2.5. Prove di frattura di giunti saldati

2.5.1. Prefazione

Il Fracture Test è un metodo semplice per studiare la qualità di un giunto fabbricato attraverso un processo di saldatura per fusione. A differenza di una prova di trazione, durante la prova non vengono registrati né il carico massimo per la rottura né lo spostamento; l'unico scopo del test è quello di rompere la saldatura per rivelare ed esaminare i difetti o le imperfezioni di saldatura presenti nel giunto.

Lo scopo di tale metodo è quello di fornire un controllo parallelo alle prove volumetriche non distruttive (es. controllo radiografico e controllo ultrasonico) dove possono essere difficili da applicare o quando è necessario un ulteriore esame per determinare la qualità di una saldatura. Pertanto, contestualmente all'esecuzione della prova di frattura, viene eseguito un esame visivo (secondo ISO 17637) e viene condotta la quantificazione delle imperfezioni applicando le norme ISO 5817 e ISO 10042 e viene determinato il livello di qualità del giunto. Successivamente, il livello di qualità ottenuto viene confrontato con i requisiti per verificare la conformità del risultato.

In questo capitolo vengono citati i riferimenti normativi per eseguire la prova di frattura e viene riportato e descritto il metodo di prova della ISO 9017 (prova di frattura).

2.5.2. Riferimenti

- ISO 9017 Prove distruttive su saldature in materiali metallici - Prova di frattura
- Saldatura ISO 5817 - Giunti saldati per fusione in acciaio, nichel, titanio e loro leghe (saldatura a fascio escluso) - Livelli di qualità per le imperfezioni
- Saldatura ISO 10042 - Giunti saldati ad arco in alluminio e sue leghe - Livelli di qualità per le imperfezioni
- ISO 17637 Prove non distruttive delle saldature - Prove visive di giunti saldati per fusione

2.5.3. introduzione

Lo scopo del test di frattura è quello di esaminare la superficie di frattura di un giunto saldato (giunto saldato per fusione) per identificare e quantificare le imperfezioni secondo gli standard ISO 17637 (esame visivo) e ISO 5817 o ISO 10042 (livelli di qualità per le imperfezioni su fusione -giunti saldati

rispettivamente in acciaio, nichel, titanio e loro leghe o per alluminio e sue leghe). Pertanto, l'articolazione deve essere sempre rotta in due parti per rivelare le superfici di frattura da esaminare. Un test di frattura in cui non si ottiene alcuna frattura non è valido.

Il metodo di prova descritto nella ISO 9017 specifica le dimensioni del provino e le procedure per l'esecuzione delle prove di frattura al fine di ottenere informazioni su tipi, dimensioni e distribuzione delle imperfezioni interne quali porosità, cricche, mancanza di fusione, mancanza di penetrazione e solidità inclusioni sulla superficie della frattura. Il test descritto nella ISO 9017 è applicabile a materiali metallici in tutte le forme di prodotto con giunti realizzati mediante qualsiasi processo di saldatura per fusione con uno spessore maggiore o uguale a 2 mm.

Il metodo suggerisce diverse tecniche per fratturare il giunto attraverso il metallo saldato al fine di esaminare la superficie di frattura. La prova (rottura del giunto) deve essere effettuata a temperatura ambiente ($23 \pm 5^\circ\text{C}$); inoltre si consiglia l'uso di intagli per fratturare meglio i provini. Inoltre, le dimensioni dell'intaglio e la temperatura possono essere variate per indurre la frattura. In sostanza, per indurre meglio la frattura, si può ridurre la temperatura di prova (es. per materiali duttili) e aumentare la dimensione dell'intaglio.

Infine, la frattura può essere indotta da flessione o tensione, carico statico o dinamico.

Nella tabella seguente è riportato l'elenco dei termini adottati nella ISO 9017 insieme alle loro descrizioni e definizioni (vedi Tabella 14).

Termine	Definizione	Descrizione
-	Pezzo di prova	Campione da esaminare dove vengono prelevati i campioni (vedi figure da 63 a 66)
-	Campione di prova	Porzione del provino prelevata per eseguire la prova di frattura (vedere figure da 68 a 70)
L_f	Durata dell'esame	Lunghezza del provino misurata lungo l'asse della saldatura tra eventuali intagli laterali (misurata in [mm])
ΣL_f	Durata totale dell'esame	Somma delle lunghezze di tutti i provini comprendenti il provino, misurate lungo l'asse della saldatura, delle facce di frattura tra le tacche laterali dei provini (misurate in [mm])
a_f	Spessore dell'esame	spessore della zona di frattura per ogni provino (misurato in [mm])
A_f	Zona d'esame	prodotto della lunghezza esaminata e dello spessore esaminato per ciascun provino (misurato in [mm ²])
ΣA_f	Area di esame totale	somma di tutte le aree di esame (misurate in [mm ²])
W	Larghezza originale	Larghezza originale del provino (vedi Figura 68)
X	Lunghezza totale	Lunghezza totale della saldatura nel pezzo di prova
t, t_1, t_2	-	Spessore del provino (misurato in [mm]), vedere Figure 69 e 70
l_1, l_2	-	Lunghezza del provino (misurata in [mm])

D	-	Diametro esterno del tubo (misurato in [mm])
<i>FW</i>	Saldatura d'angolo	Saldatura eseguita all'angolo tra due piastre o una piastra e un tubo (es. una perpendicolare all'altra); vedere le figure 65 e 66.
<i>BW</i>	Saldatura di testa	Saldatura eseguita tra due lamiere di due tubi per estenderli lungo il loro asse longitudinale (es. tubi) o lungo la loro larghezza (es. lamiere); vedere le figure 63 e 64.
<i>S</i>	Tacca laterale	Tacca sul lato (o sui lati) della saldatura
<i>F</i>	Tacca frontale	Intaglio longitudinale sulla faccia della saldatura
<i>R</i>	Tacca di radice	Intaglio longitudinale sulla radice della saldatura
<i>Q</i>	Tacca quadrata	Vedere Figura 67
<i>R</i>	Tacca rotonda	Vedere Figura 67
<i>S</i>	Tacca affilata	Vedere Figura 67
<i>mq</i>	Tacca laterale	Quadrato (q) Tacca laterale (S)
<i>Sr</i>	Tacca laterale	Tondo (r) Tacca laterale (S)
<i>SS</i>	Tacca laterale	Affilato (s) Tacca laterale (S)
<i>Fq</i>	Tacca frontale	Quadrato (q) Intaglio frontale (F)
<i>Fr</i>	Tacca frontale	Tondo (r) Intaglio frontale (F)
<i>Fs</i>	Tacca frontale	Affilato (s) Tacca frontale (F)
<i>Rq</i>	Tacca di radice	Quadrato (q) Intaglio a radice (R)
<i>Rr</i>	Tacca di radice	Tondo (r) Radice (R)
<i>Rs</i>	Tacca di radice	Sharp (s) Intaglio della radice (R)

Tavolo14- Elenco di termini e definizioni tratti dalla ISO 9017.

1.1.1. Campioni di prova

Le dimensioni dei provini sono definite nelle figure riportate da Figura 63 a Figura 66; il provino deve fornire campioni di prova sufficienti per il ΣL richiesto e ΣA_F . I valori di L_F e A_F e il numero dei provini deve essere specificato dalla norma applicativa o mediante accordo tra le parti contraenti. I giunti saldati nelle piastre devono essere tagliati trasversalmente al giunto saldato in provini di lunghezza di saldatura approssimativamente uguale. L'asse di saldatura deve rimanere al centro del provino per le saldature di testa.

Per giunti saldati in tubo, il provino deve fornire almeno due provini. Quando si eseguono prove di piegatura, un numero uguale di provini deve essere testato con la radice in tensione e la faccia in tensione. Se il diametro del tubo è troppo piccolo per rimuovere il numero richiesto di provini, devono essere saldati ulteriori provini.

Ogni provino deve essere contrassegnato per identificare la sua posizione esatta nel manufatto o nei giunti da cui è stato rimosso. Una volta rimosso dal provino, ogni provino deve essere contrassegnato.

Il metodo di estrazione deve essere scelto per evitare l'introduzione di effetti termici o meccanici dannosi. Come regola generale, una porzione di 25 mm da entrambe le estremità delle saldature di prova deve essere scartata, a meno che non siano richieste informazioni sulle estremità delle saldature [ad es. imperfezioni di inizio/fine]. A seconda dei materiali del giunto, è necessario selezionare un metodo di taglio adeguato in base alle seguenti considerazioni:

- I provini degli acciai devono essere tagliati mediante taglio termico o con mezzi meccanici;
- altri materiali metallici devono essere tagliati solo meccanicamente.

La rottura delle saldature in piastre o tubi può essere assistita da uno o più dei seguenti:

- rimozione dell'armatura di saldatura
- intaglio su entrambi i bordi della saldatura (intaglio laterale);
- intaglio nel rinforzo (intaglio longitudinale).

A seconda della duttilità del metallo d'apporto si possono utilizzare intagli quadri, tondi o taglienti (vedi Figure da 67 a 70). Per materiali ad alta duttilità (es. alluminio e rame, si possono consigliare intagli taglienti).

La profondità degli intagli deve essere sufficiente per indurre la frattura nella saldatura. La profondità dell'intaglio dovrebbe essere tale che:

- tacca laterale: $L_f \geq 70\% W$ o $\Sigma L_f \geq 60\% X$
- tacca longitudinale: $a_f \geq 80\% t$ o t_1 o t_2

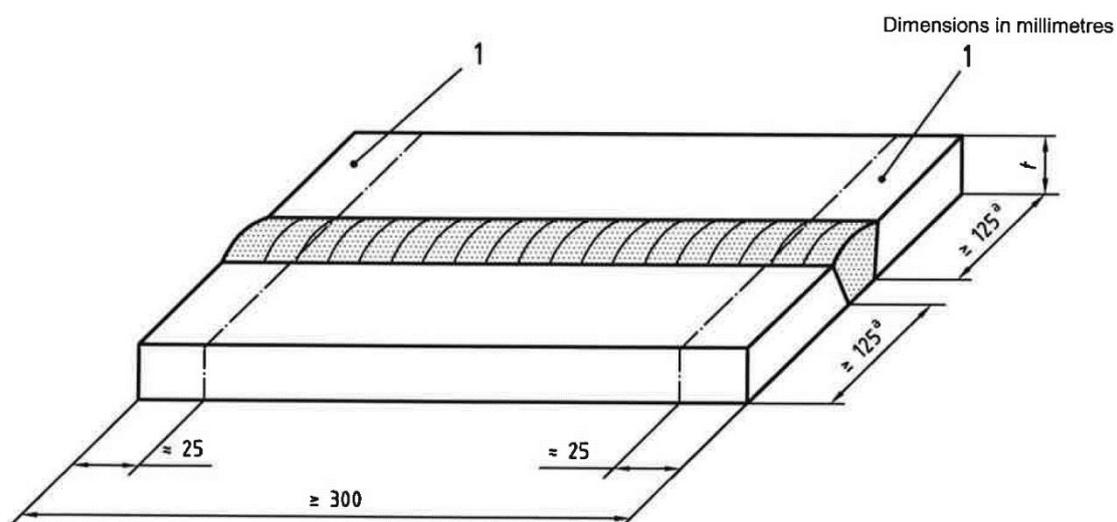


Figura63- Provino per saldature di testa in lamiera; Nota: 1 = scarto; $a \geq 150$ mm per materiali ad alta conducibilità termica (es. alluminio e rame).

Dimensions in millimetres

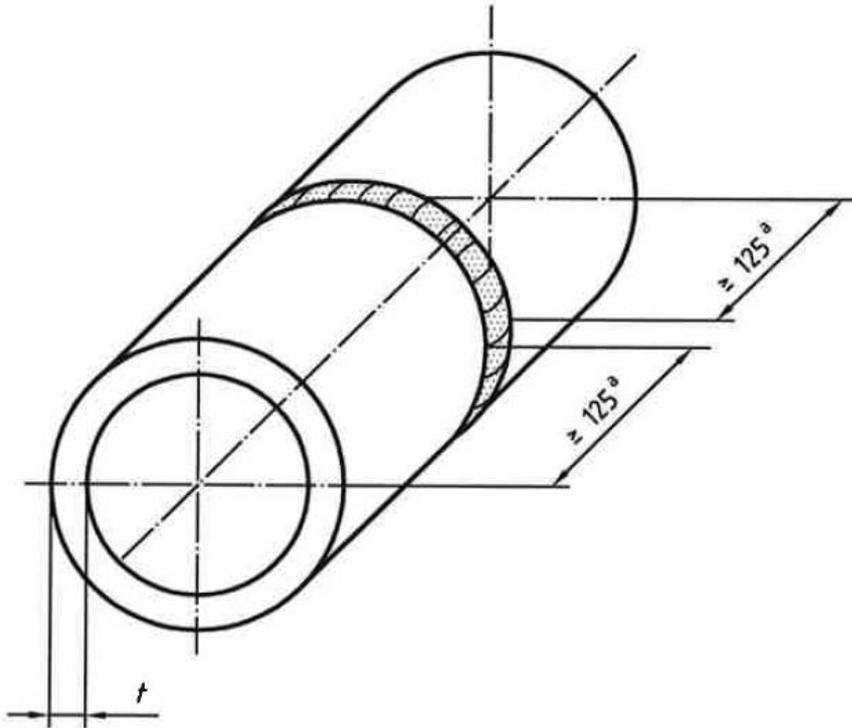
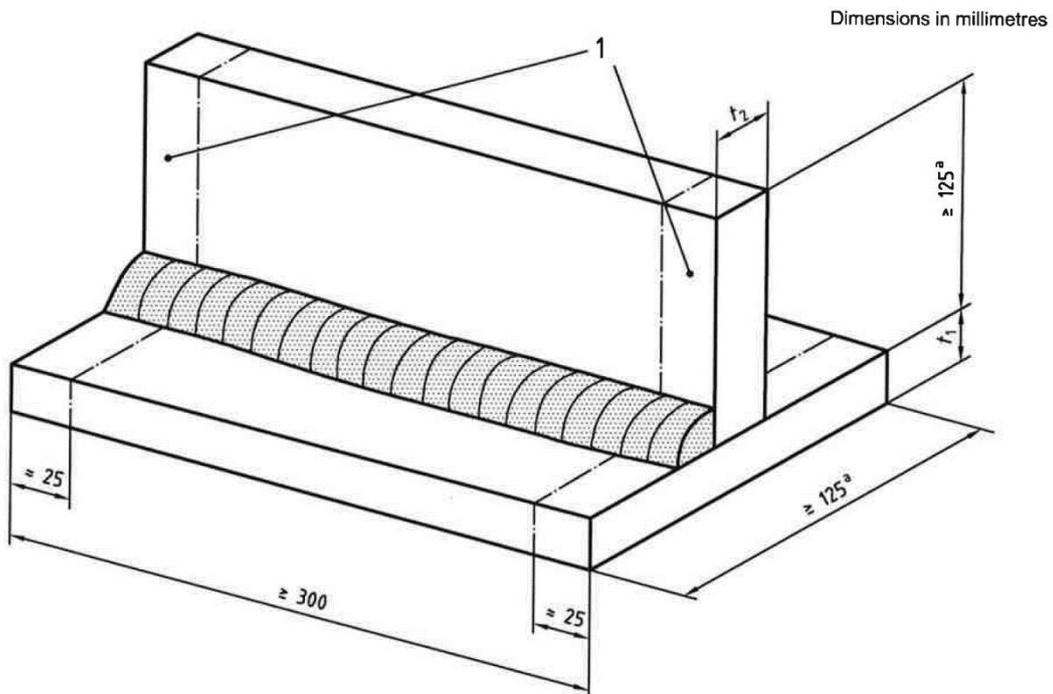


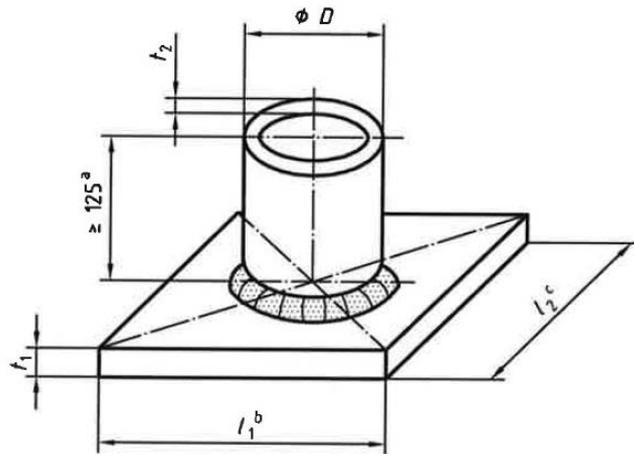
Figura64- Provino per saldature testa a testa in tubo; Nota: $a \geq 150$ mm per materiali ad alta conducibilità termica (es. alluminio e rame).



Dimensions in millimetres

Figura65- Provino per saldature d'angolo su lamiera; Nota: $a \geq 150$ mm per materiali ad alta conducibilità termica (es. alluminio e rame).

Dimensions in millimetres



- a ≥ 150 mm for materials of high thermal conductivity (e.g. aluminium and copper)
- b $l_1 \approx l_2; l_1 \geq (D + 100)$
- c $l_2 \geq (D + 100)$

Figura66- Provino per saldature d'angolo su tubo.

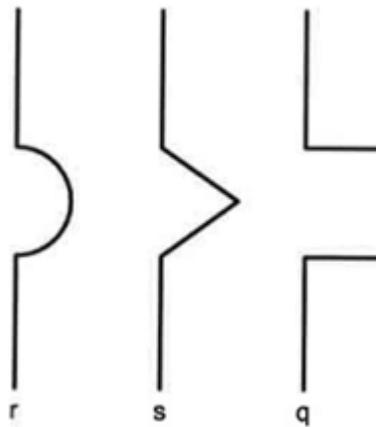


Figura67- Profili di intaglio (r = tondo; s = tagliente; q = radice).

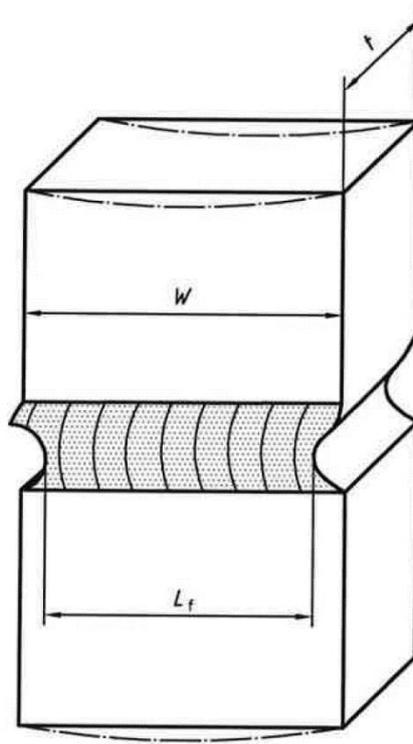


Figura68- Tacche laterali (notare che le linee piene sono per le piastre mentre le linee tratteggiate sono per i tubi).

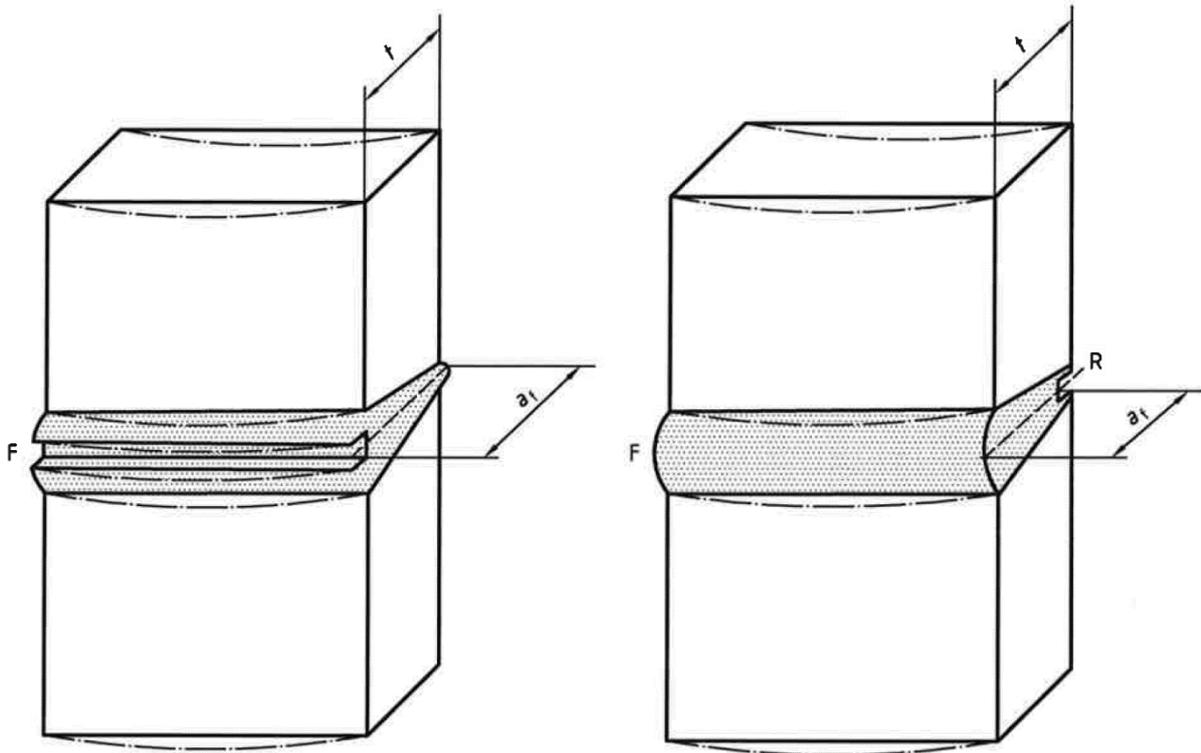


Figura69- Intagli longitudinali nelle saldature di testa, a sinistra: Intagli frontali; a destra: intagli di radice (notare che le linee piene sono per le piastre mentre le linee tratteggiate sono per i tubi).

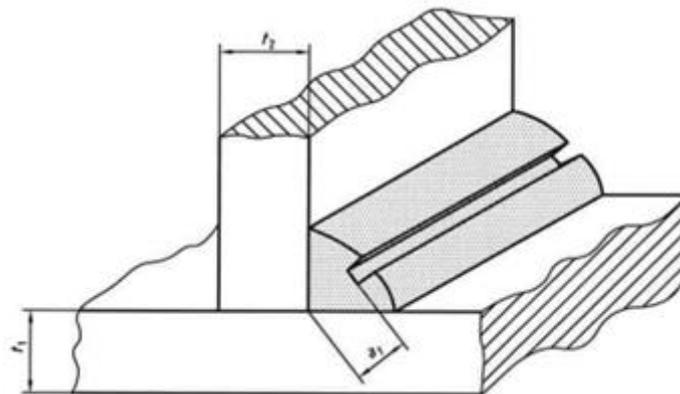


Figura70- Intagli longitudinali nelle saldature d'angolo.

1.1.1. Procedura di prova

Le prove di frattura possono essere eseguite da:

- colpi dinamici (ad esempio con un martello); vedere le Figure 71 da a) a c) per BW e la Figura 72 a) per FW



- applicare un carico premendo in una morsa, piegatrice o pressa da officina; vedere le figure 71 da d) a f) per BW e le figure 72 c) e c) per FW

- applicando un carico mediante trazione (ad es. con una macchina per prove di trazione), vedere Figura 71 g)

Per i materiali duttili può essere utile avere una distanza minima (b_{min}) tra la tacca e le ganasce dei morsetti del dispositivo vedi Figura 71 c). Inoltre, per metalli di saldatura duttili come acciai austenitici, alluminio, rame nichel e loro leghe, può essere necessario limitare lo spessore del provino e lo spessore della gola, aumentare la larghezza dell'intaglio, diminuire il raggio dell'intaglio e aumentare la severità (carico della corsa, carico del martello) della prova, se è richiesta la frattura nel metallo saldato. Per metalli di saldatura duttili come l'acciaio ferritico, può essere necessario raffreddare il provino.

I materiali più spessi possono essere fratturati da colpi di martello. Quando si utilizza una piegatrice, il diametro della forma deve essere scelto in modo tale che la frattura avvenga senza la necessità di piegature alternate. La piegatura può essere effettuata con la saldatura perpendicolare o trasversale alla direzione della forza applicata secondo le figure 71 da c) a f). Il limite minimo per il test per l'alluminio è di circa 8 mm di spessore.

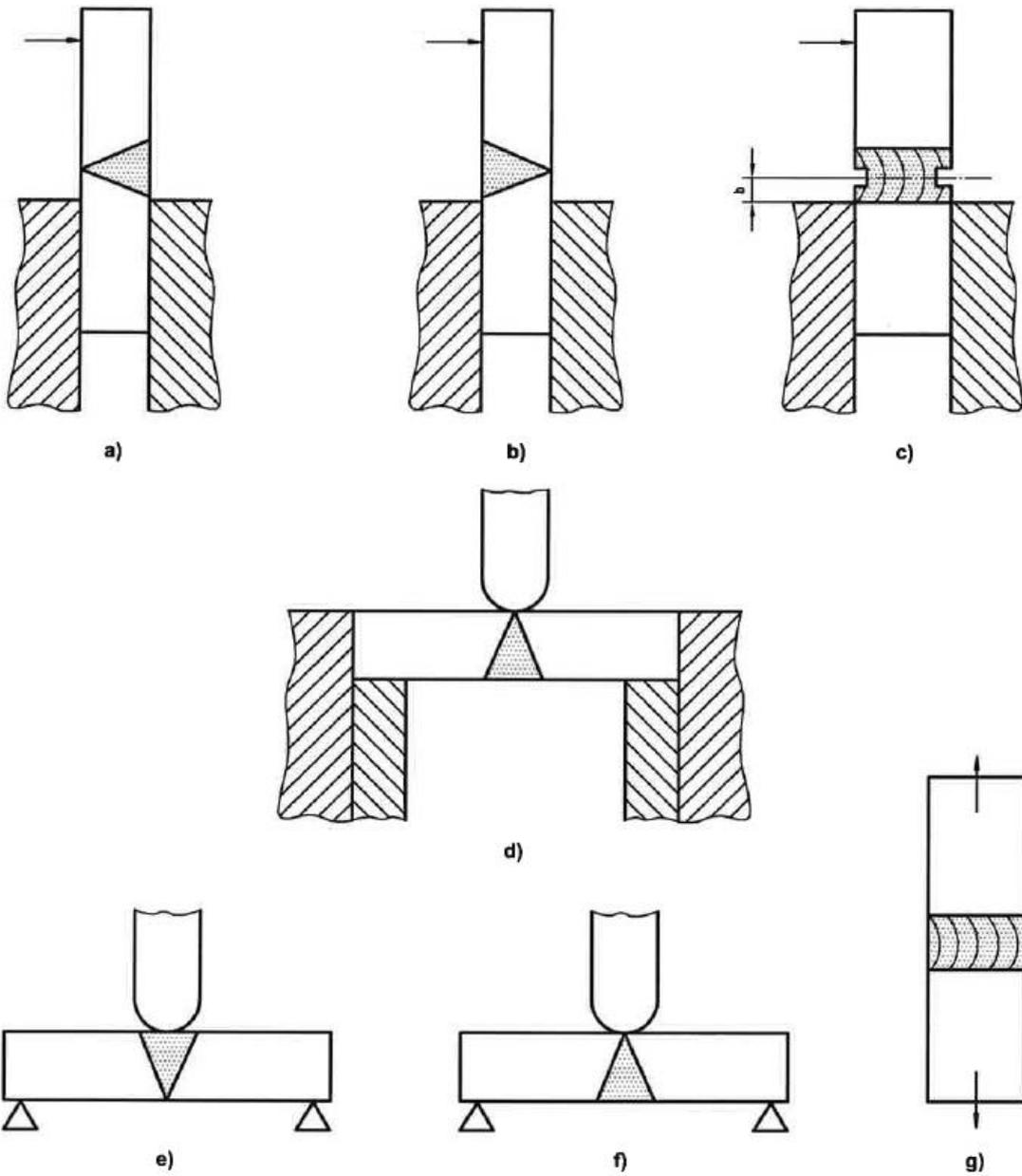


Figura71- Esempi di metodi di prova su BW (tacche secondo le figure da 47 a 49).

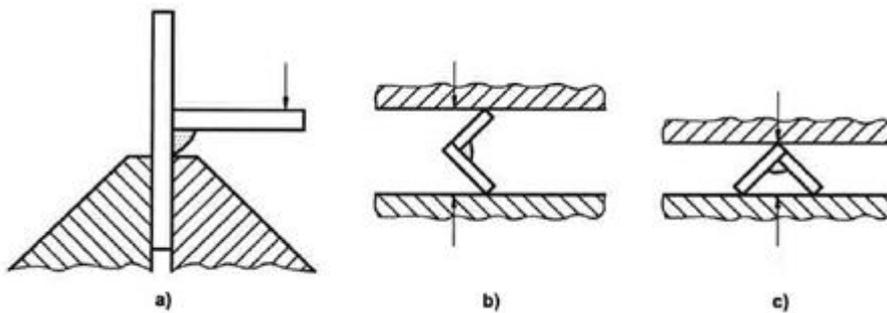


Figura72- Esempi di metodi di prova su FW (tacche secondo le figure 47 e 50).

2.5.4. Risultato del test

Dopo la rottura del campione, la superficie della frattura deve essere esaminata visivamente in conformità alla norma ISO 17637. Per una chiara rilevazione e identificazione delle imperfezioni può essere utilizzata una lente a basso ingrandimento (ad es. fino a cinque volte l'ingrandimento).

Deve essere riportata una descrizione completa dell'aspetto della superficie della frattura e del tipo e della posizione di qualsiasi imperfezione presente. Si deve dichiarare che la qualità è stata valutata in conformità con ISO 5817 o ISO 10042. Il livello di qualità è specificato dalla norma di applicazione o da un accordo tra le parti contraenti.

Il rapporto di prova deve contenere le seguenti informazioni:

- un riferimento al metodo di prova standard applicato (ISO 9017);
- l'identificazione del provino;
- la denominazione del campione secondo la tabella 14;
- registrazioni di tipi, posizioni e dimensioni di tutte le imperfezioni inaccettabili in conformità con il relativo livello di qualità.

2.5.5. Esempio 1

Campione di prova prelevato da una saldatura d'angolo con una lunghezza di esame di 40 mm e uno spessore di esame di 10 mm.

Senza alcun requisito di intaglio e metodo di prova:

- Denominazione di base: FW / (L_FUN_F)
- Per questo esempio: FW / [40 · 10]

Con requisito aggiuntivo (intaglio a faccia quadrata e metodo di prova):

- Denominazione complessiva: FW / (L_FUN_F) / F_Q(Vedi Figura 70)
- Per questo esempio: FW / [40 · 10] / F_Q(Vedi Figura 70)

2.5.6. Esempio 2

Campione di prova prelevato da una saldatura di testa con una lunghezza di esame di 40 mm e uno spessore di esame di 10 mm.

Senza alcun requisito di intaglio e metodo di prova:

- Denominazione di base: BW / (L_FUN_F)
- Per questo esempio: BW / [40 · 10)

Con requisito aggiuntivo (intaglio a faccia quadrata e metodo di prova):

- Denominazione complessiva: BW / (L_FUN_F) / S_R(Vedi Figura 68)
- Per questo esempio: BW / [40 · 10] / S_R(Vedi Figura 68)

2.5.7. Esempio 3

Un esempio di un tipico rapporto di prova, vedere la Figura 73.

Example of a test report

No.

According to pWPS

According to test result "fracture test"
test result "....."

Manufacturer:

Purpose of the examination:

Form of product:

Parent metal:

Consumable:

Denomination of test piece:

Table A.1 — Fracture test in accordance with ISO 9017

Test specimen	Denomination	Results	
		Type and size of imperfections	Quality level

Examiner or examining body: Certified by:

.....

(name, date and signature) (name, date and signature)

Figura73- Esempio di rapporto di prova secondo ISO 9017.

2.5.8. Esempio 4

Un esempio delle superfici di frattura di quattro campioni BW con intagli laterali rotondi (Sr) e con rinforzo intagliato (intaglio a faccia tonda, Fr) dopo la frattura, vedere Figura 74.

I provini di sinistra mostrano una morfologia duttile della superficie di frattura senza difetti rilevanti e senza imperfezioni (superficie accettabile), i provini di destra (nota sono riportate due metà di provini diversi) hanno evidenziato alcune porosità ed altre imperfezioni (evidenziate da un rettangolo bianco tratteggiato) sulle superfici di frattura (vedi Figura 74).

Inoltre, sulla stessa figura, sono riportati la lunghezza di esame (L_f) e lo spessore di esame (a_f) insieme allo spessore originario (t) e alla larghezza originaria del provino (W).

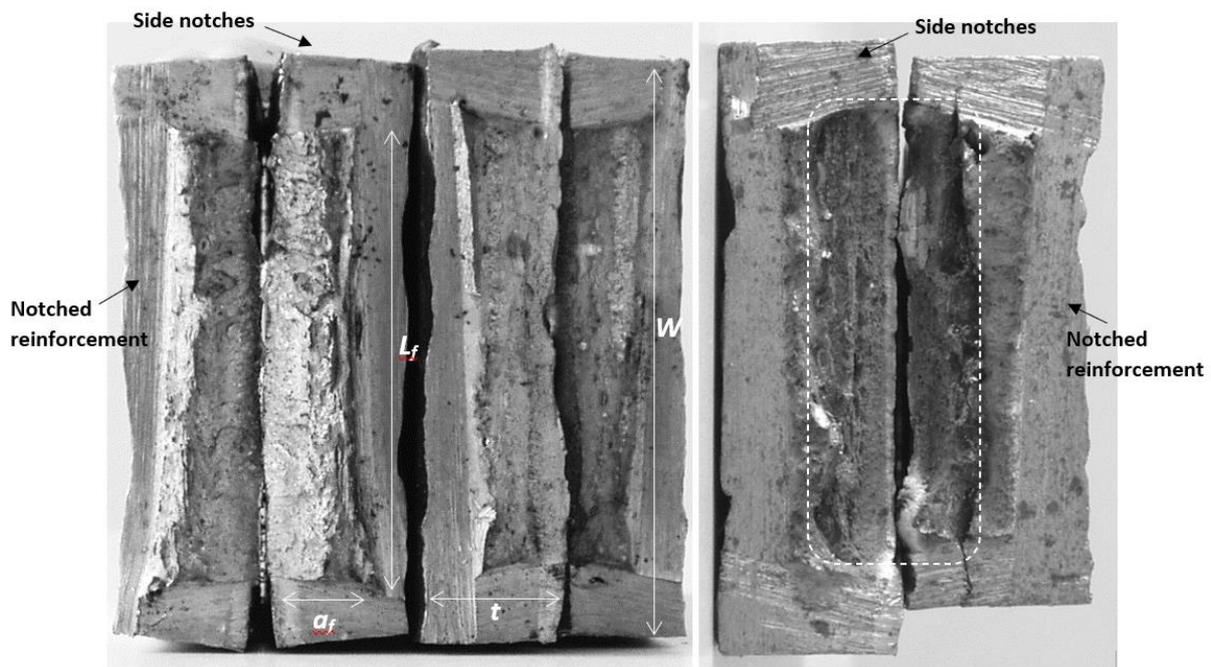


Figura74- Superfici di frattura di provini BW con Sr e armatura intagliata (Fr).

2.6. Prove di durezza dei giunti saldati

2.6.1. Definizione di durezza

La durezza è la proprietà di un materiale che gli consente di resistere alla deformazione plastica, solitamente per indentazione. Viene determinato misurando la profondità permanente della rientranza. Dato un carico fisso e un penetratore specifico, minore è la rientranza, più duro è il materiale. Tuttavia, la durezza può essere valutata anche dalla resistenza al graffio o al taglio da parte di un altro materiale.

La durezza non è una proprietà intrinseca del materiale dettata da precise definizioni in termini di unità fondamentali di massa, lunghezza e tempo. Un valore di proprietà di durezza è il risultato di una procedura di misurazione definita.

$$HV = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2}$$

$$HV = 1.854 \cdot \frac{F}{d^2}$$

Dove F è il carico applicato (misurato in chilogrammi-forza), d = media aritmetica delle due diagonali, d1 e d2 in mm e d² è l'area dell'impronta (misurata in millimetri quadrati).

Quando la diagonale media dell'impronta è stata determinata, la durezza Vickers può essere calcolata dalla formula, ma possiamo anche utilizzare le tabelle di conversione della durezza.

La durezza Vickers, HV, è designata come mostrato nell'esempio seguente.

2.6.2. Metodo per la prova di durezza

Tipicamente, vengono utilizzati tre tipi di metodi di prova per misurare la durezza dei metalli, vale a dire il test di durezza Brinell, il test di durezza Rockwell e il test di durezza Vickers. Si distinguono l'uno dall'altro per l'uso di diversi penetratori. Una sfera in acciaio temprato o carburo di 10 mm di diametro viene solitamente utilizzata come penetratore nel test di durezza Brinell, un cono di diamante o acciaio nel test di durezza Rockwell e un penetratore di diamante a forma piramidale nel test di durezza Vickers.

Il valore di durezza dipende dalla procedura di misurazione definita. E non può essere definito in termini di unità fondamentali di massa, lunghezza e tempo. Il metodo più utilizzato è il test di durezza Vickers.

2.6.3. Prova di durezza Vickers

Il test di durezza Vickers è il metodo standard per misurare la durezza dei metalli, in particolare quelli con superfici estremamente dure. Il penetratore utilizzato è una piramide a base quadrata i cui lati opposti si incontrano al vertice con un angolo di 136° (Figura 75a). Il diamante viene premuto sulla

superficie del materiale sotto carico. Dopo un tempo di attesa (da 10 a 15 secondi), il carico viene rimosso.

E che, le due diagonali dell'impronta lasciata sulla superficie del materiale dopo la rimozione del carico (Fig.75b) sono misurate al microscopio calibrato a causa delle piccole dimensioni dell'impronta (generalmente tra 0,020 mm e 1,400 mm) e erede media calcolata.

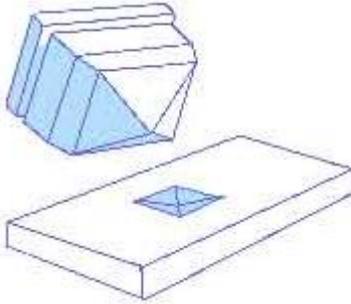


Figura 75a - Prova di durezza Vickers

(<http://www.hardnesstesters.com/hardness-method-2.htm>).

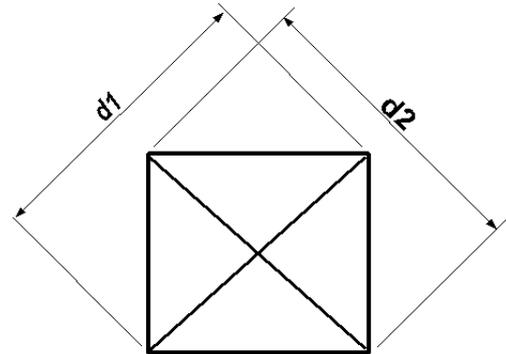


Figura 75b - la tacca residua sulla superficie.

Il numero di Vickers (HV) è calcolato con la seguente formula:

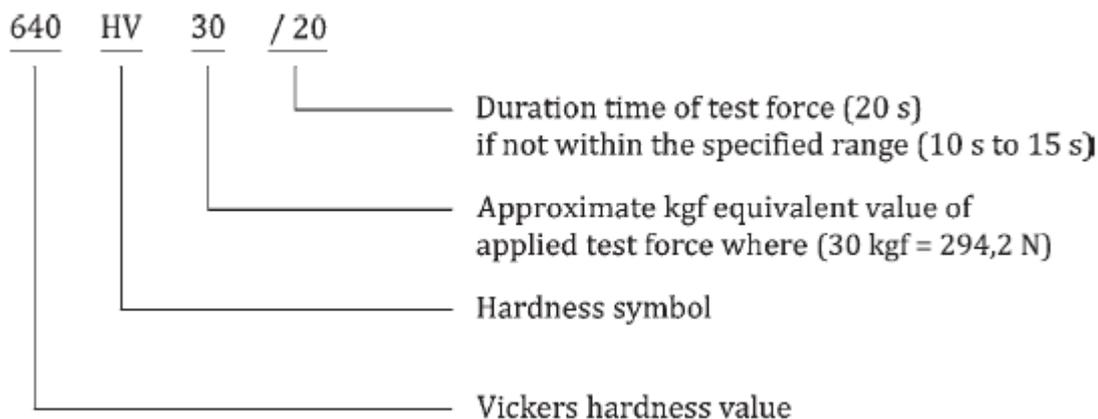
$$HV = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2}$$

$$HV = 1.854 \cdot \frac{F}{d^2}$$

Dove F è il carico applicato (misurato in chilogrammi-forza), d = media aritmetica delle due diagonali, d1 e d2 in mm e d² è l'area dell'impronta (misurata in millimetri quadrati).

Quando la diagonale media dell'impronta è stata determinata, la durezza Vickers può essere calcolata dalla formula, ma possiamo anche utilizzare le tabelle di conversione della durezza.

La durezza Vickers, HV, è designata come mostrato nell'esempio seguente.



Altre diverse impostazioni di carico (1, 2, 5, 10, 30, 50 e 100 kgf) danno numeri di durezza praticamente identici su materiale omogeneo, il che è molto più facile che nel cambio arbitrario di scala, come con gli altri metodi di prova di durezza. I vantaggi del test di durezza Vickers sono la possibilità di effettuare

letture estremamente accurate e l'utilizzo di un solo tipo di penetratore per tutti i tipi di metalli e trattamenti superficiali.

La risoluzione richiesta del sistema di misura diagonale dipende dalla dimensione del più piccolorientranza da misurare e deve essere conforme alla Tabella 15. Nel determinare la risoluzione divedono essere presi in considerazione il sistema di misurazione, la risoluzione dell'ottica del microscopio, la risoluzione digitale della scala di misurazione e la dimensione del passo di qualsiasi movimento del tavolino, ove applicabile.

Lunghezza diagonale, D mm	Risoluzione del sistema di misura
$0,020 \leq D < 0,080$	0,000 4mm
$0,080 \leq D \leq 1.400$	0,5 % di D

Tavolo15- Risoluzione del sistema di misura.

La conversione della durezza tra diversi metodi e scale non può essere resa matematicamente esatta per un'ampia gamma di materiali. Carichi diversi, forma diversa dei penetratori, omogeneità del campione, proprietà di lavorazione a freddo e proprietà elastiche complicano il problema. Tutte le tabelle e i grafici devono essere considerati equivalenti approssimativi, in particolare quando si esegue la conversione in un metodo o scala che non è fisicamente possibile per il particolare materiale di prova e quindi non può essere verificato. Un esempio potrebbe essere la conversione del valore HV 10 su un rivestimento sottile nell'equivalente HRC.

Di seguito sono riportati i collegamenti alle tabelle e ai grafici di conversione della durezza:

[Tabella di conversione della durezza](#)

[Grafico di conversione della durezza](#)

[Grafico di Brinell, Vickers ed equivalenti di massima resistenza alla trazione \(1\)](#)

[Tabella di conversione della durezza relativa alle scale di durezza Rockwell C \(materiali duri\)](#)

[Grafico della durezza equivalente stimata relativo a Rockwell C e Vickers \(materiali duri\)](#)

[Calcolatore di conversione HV, MPa e GPa](#)

Prima di una prova di durezza Vickers, la macchina deve essere verificata, la macchina deve essere controllata per assicurarsi che sia correttamente impostata secondo le istruzioni del produttore.

In particolare, va verificato che:

- il pistone che sostiene il penetratore è in grado di scorrere nella sua guida senza alcun attrito o gioco laterale eccessivo;
- il portapenetratore è saldamente montato nello stantuffo;
- la forza di prova può essere applicata e rimossa senza urti, vibrazioni o superamenti e in modo tale che le letture non siano influenzate;
- il sistema di misurazione diagonale:

- 1) se integrale con la macchina, il passaggio dalla rimozione della forza di prova alla modalità di misura non influenza le letture;
- 2) il dispositivo di illuminazione del microscopio di misura produce un'illuminazione uniforme dell'insieme campo osservato con sufficiente contrasto tra la rientranza e la superficie circostante per determinare chiaramente il confine;
- 3) il centro della rientranza si trova al centro del campo visivo, se necessario.

La verifica diretta di una macchina per prove di durezza Vickers comporta:

- a) taratura della forza di prova;
- b) verifica del penetratore;
- c) taratura e verifica del sistema di misura diagonale;
- d) verifica del ciclo di prova.

La verifica diretta dovrebbe essere effettuata a una temperatura di (23 ± 5) °C. Se la verifica viene effettuata al di fuori di questo intervallo di temperatura, ciò deve essere indicato nel rapporto di verifica.

Gli strumenti utilizzati per la verifica e la taratura devono essere riconducibili agli standard nazionali.

Ogni forza di prova utilizzata all'interno del campo di lavoro della macchina di prova deve essere misurata. Ogni volta la posizione del penetratore influenza la forza applicata, ciò deve essere fatto in almeno tre posizioni del pistone uniformemente distanziate lungo tutto il suo raggio di movimento durante la prova. Per le macchine di prova la cui forza di prova è dimostrata non essere influenzata dalla posizione del pistone, ad es. sistema di carico controllato a circuito chiuso, la forza di prova può essere calibrata in una posizione.

Devono essere prese tre letture per ciascuna forza di prova, F , in ogni posizione dello stantuffo. Immediatamente prima di ogni lettura, il penetratore deve essere spostato nella stessa direzione della prova.

La macchina di prova deve essere verificata testando i blocchi di riferimento che sono stati calibrati in conformità con ISO 6507-3. I blocchi devono essere stati calibrati utilizzando le stesse forze di prova applicate dalla macchina utilizzare per test futuri. Quando si verifica più di una forza di prova, devono essere selezionati almeno due blocchi di riferimento dagli intervalli di durezza specificati di seguito per ciascuna forza di prova che verrà verificata sulla macchina. La serie di blocchi necessari per verificare la macchina per tutte le forze di prova deve essere scelta in modo tale che per le verifiche venga utilizzato almeno un blocco di riferimento per ciascuna gamma di durezza. Quando si verificano le macchine di prova utilizzando una sola forza di prova, devono essere utilizzati tre blocchi di riferimento, uno per ciascuno dei tre intervalli di durezza specificati di seguito.

Gli intervalli di durezza dovrebbero essere scelti, quando possibile, per replicare i livelli di durezza più comunemente testati quando si utilizzano le forze di prova specifiche.

- <250 HV
- da 400 HV a 600 HV
- >700 HV

Su ciascun blocchetto di riferimento devono essere praticate e misurate cinque rientranze. La prova deve essere eseguita in conformità alla norma ISO 6507-1. Per il test devono essere utilizzate solo le superfici calibrate dei blocchi di prova.

Le verifiche dirette devono essere eseguite secondo il programma indicato in Tabella 16. È raccomandato che le verifiche dirette siano effettuate ogni 12 mesi.

La verifica indiretta deve essere eseguita almeno una volta ogni 12 mesi e dopo una verifica diretta è stata eseguita.

Requisiti di verifica	Forza	Misura diagonale sistema	Ciclo di prova	Penetratore UN
Prima di mettersi al lavoro per la prima volta	X	X	X	X
Dopo lo smontaggio e il rimontaggio, se la forza, il sistema di misurazione diagonale o il ciclo di prova sono interessati.	X	X	X	
Fallimento della verifica indiretta ^B	X	X	X	
Verifica indiretta > 13 mesi fa	X	X	X	

Inoltre, si consiglia di verificare direttamente il penetratore dopo 2 anni di utilizzo.

La verifica diretta di questi parametri può essere eseguita in sequenza (finché la macchina non supera la verifica indiretta) e non è richiesta se si può dimostrare, ad esempio, mediante test con un penetratore di riferimento, che il penetratore era il causa del fallimento.

Tavolo 16- Verifiche dirette su macchine per prove di durezza.

L'analisi dell'incertezza di misura è uno strumento utile per aiutare a determinare le fonti di errore e per comprendere le differenze tra i valori misurati. Questo allegato fornisce una guida sulla stima dell'incertezza, ma i valori derivati sono solo a scopo informativo, a meno che non sia diversamente indicato dal cliente. I criteri specificati in questo documento per le prestazioni della macchina di prova sono stati sviluppati e perfezionati in un periodo di tempo significativo.

Nel determinare una tolleranza specifica che la macchina deve soddisfare, l'incertezza associata all'uso di strumenti di misurazione e/o di riferimento standard è stato incorporato all'interno di questa tolleranza e sarebbe quindi inopportuno farlo qualsiasi ulteriore tolleranza per questa incertezza, ad esempio riducendo la tolleranza dell'incertezza di misura.

Questo vale per tutte le misurazioni effettuate durante l'esecuzione di una verifica diretta o indiretta della macchina. In ogni caso, è semplicemente il valore misurato risultante dall'uso dell'apparecchiatura di misurazione specificata e/o degli standard di riferimento che viene utilizzato per valutare se la macchina è conforme o meno al presente documento. Tuttavia, potrebbero esserci circostanze speciali in cui è opportuno ridurre la tolleranza in base all'incertezza di misura.

2.6.4. Riferimenti (ultima edizione)

- ISO 6507-1: Materiali metallici – Prova di durezza Vickers – Parte 1: Metodo di prova
- ISO 6507-2: Materiali metallici – Prova di durezza Vickers – Parte 2: Verifica e taratura delle macchine di prova

- ISO 6507-3: Materiali metallici – Prova di durezza Vickers – Parte 3: Taratura dei blocchi di riferimento
- ISO 6507-4: Materiali metallici – Prova di durezza Vickers – Parte 4: Tabelle dei valori di durezza
- ISO 4516: rivestimenti metallici e altri rivestimenti inorganici - test di microdurezza Vickers e Knoop
- EN ISO 14271: Saldatura a resistenza - Prove di durezza Vickers (bassa forza e microdurezza) di punti di resistenza, proiezioni e saldature continue
- ISO 22826: Prove distruttive su saldature in materiali metallici - Prove di durezza di giunti stretti saldati mediante laser e fascio di elettroni (prove di durezza Vickers e Knoop)
- EN ISO 4498: Materiali metallici sinterizzati, esclusi i metalli duri - Determinazione della durezza apparente e della microdurezza
- ISO 18265: Materiali metallici – Conversione dei valori di durezza
- EN ISO 14577-1: Materiali metallici - Prova di indentazione strumentata per parametri di durezza e materiali - Parte 1: Metodo di prova
- EN ISO 14577-2: Materiali metallici - Prova di indentazione strumentata per parametri di durezza e materiali - Parte 2: Verifica e calibrazione delle macchine di prova
- EN ISO 15614-1: Specifica e qualificazione delle procedure di saldatura per materiali metallici. Prova di procedura di saldatura. Parte 1: Saldatura ad arco ea gas di acciai e saldatura ad arco di nichel e leghe di nichel

2.7. Esercizi per la classe

I seguenti esercizi teorici e pratici dovrebbero essere risolti dai tirocinanti dopo le sessioni di formazione teorica del CAPITOLO 2, per valutare i loro progressi sulle conoscenze acquisite.

2.7.1. Prove di trazione dei metalli a temperatura ambiente Esercizi

2.7.1.1. Esercizio 1

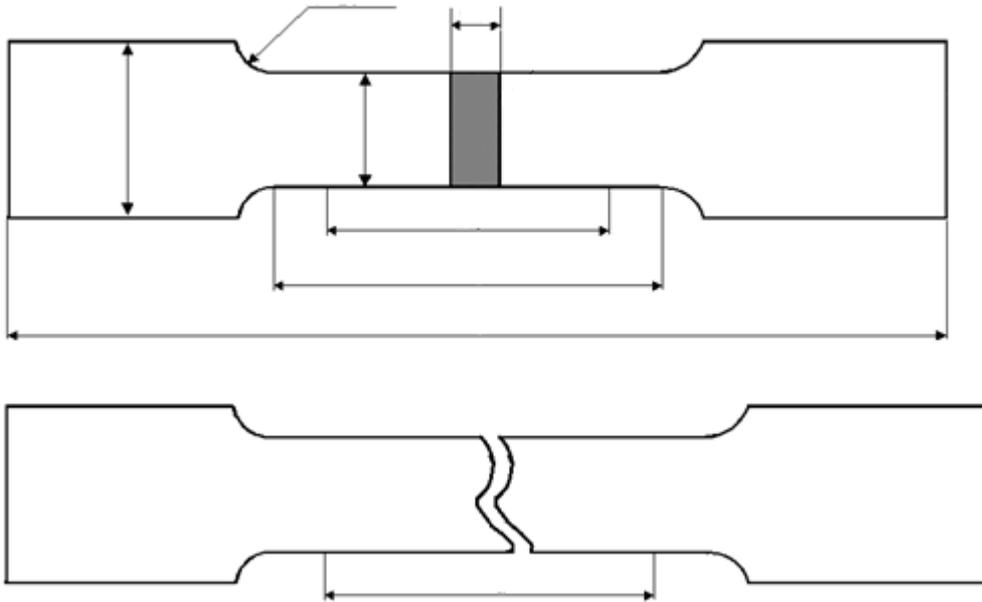
Rispondi alle seguenti domande per valutare la tua comprensione dei concetti. Fornire risposte brevi e concise.

1. Qual è lo scopo delle prove di trazione?
2. Quali sono i componenti chiave di una tipica macchina per prove di trazione?
3. Spiegare la differenza tra stress ingegneristico e stress reale.
4. Definire i termini deformazione elastica, deformazione plastica e frattura nel contesto delle prove di trazione.
5. Qual è la resistenza allo snervamento di un materiale e come viene determinata?
6. In che modo la resistenza alla trazione ultima (UTS) è diversa dalla resistenza allo snervamento?
7. Descrivere il concetto di incrudimento (incrudimento) e il suo effetto sulle proprietà di trazione di un materiale.
8. Qual è il significato dell'allungamento e della riduzione delle misurazioni dell'area nelle prove di trazione?
9. In che modo la temperatura influisce sulle proprietà meccaniche di un materiale durante le prove di trazione?

2.7.1.2. Esercizio 2 | Dimostrazione

Si prega di compilare i simboli mancanti nella figura dall'elenco sottostante e spiegare il significato dei simboli.

- a_0 –
- b_0 –
- b_1 -
- L_c –
- L_0 –
- T_{en} -
- L_u –
- R -



1.1.1. Prove di trazione di giunti saldati con saldature di testa, giunti cruciformi, giunti sovrapposti e giunti con saldature d'angolo Esercizi

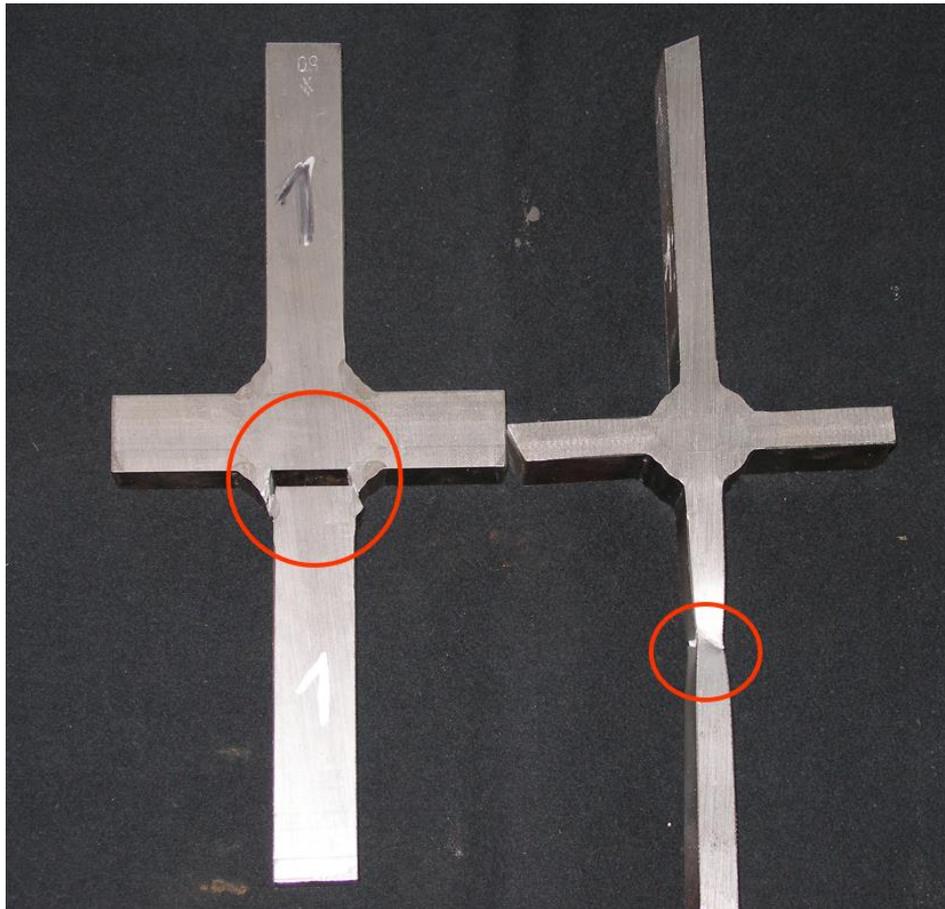
1.1.1.1. Esercizio 1

Rispondi alle seguenti domande per valutare la tua comprensione dei concetti. Fornire risposte brevi e concise.

1. Descrivere i requisiti per la selezione di un provino da un giunto saldato, compresa la sua posizione e il processo di lavorazione.
2. Spiegare le dimensioni e le condizioni della superficie a cui deve conformarsi il provino.
3. Discutere le situazioni in cui possono essere necessari più provini per coprire l'intero spessore di un giunto e le relative considerazioni sullo spessore.
4. Spiegare il processo di applicazione del carico e i criteri di frattura per il provino durante la prova di trazione.
5. Descrivere l'importanza di esaminare le superfici fratturate del provino e registrare eventuali imperfezioni che potrebbero aver influenzato i risultati del test.
6. Elenca le informazioni che devono essere incluse nel rapporto di prova.

1.1.1.2. Esercizio 2 | Dimostrazione

Indicare quale metodo di rottura del provino nella prova di trazione del giunto trasversale è corretto.



1.1.1. Prova di piegatura di metalli ed esercizi di giunzioni saldate

1.1.1.1. Esercizio 1

Definisci come agirai in caso di rottura del provino durante la prova di piegatura, scegli una delle seguenti opzioni e spiega la tua risposta:

- A. scartare il campione e chiederne uno nuovo all'officina
- B. chiamare il cliente per informare che il tagliando di saldatura non è accettabile
- C. misurare la profondità della fessura e calcolarne la sezione efficace per ottenere la reale sollecitazione a flessione sui provini fessurati
- D. dopo la misura del difetto sulla superficie tesa si rileva che la sua lunghezza è inferiore a 3 mm, quindi si piega ulteriormente il provino per aumentare tale lunghezza fino ad un valore superiore a 3 mm quindi si conferma il risultato non accettabile (rottura del provino)
- E. si misura solo l'angolo al quale è avvenuta la rottura del provino (nel caso in cui il provino si fosse rotto quindi non è stato possibile proseguire la prova)
- F. si misura l'allungamento a cui è avvenuta la rottura del provino (nel caso il provino si fosse rotto quindi non è stato possibile proseguire la prova)

- G. se si valuta che il provino è fallito si inserirà nel rapporto di prova l'angolo massimo raggiunto dal provino durante la prova di piega e si inserirà nelle note la lunghezza della rottura o del difetto rilevato
- H. se durante la prova di piegatura vedi il confronto di un difetto interrompi immediatamente il test così da misurare la lunghezza del difetto e stabilire se è accettabile o meno
- I. se durante il test di piegatura vedi il confronto di un difetto continuerai il test fino alla fine ma a una velocità inferiore rispetto all'inizio
- J. se durante la prova di piega vedete il confronto di un difetto continuerete la prova fino alla fine e poi non eseguirete le prove sui restanti provini dello stesso campione perché non è necessario
- K. se vedete il riscontro di un difetto sulla superficie tesa del provino durante la prova, interrompete immediatamente la prova quindi ripetetela sullo stesso provino ma piegandolo in senso inverso quindi sulla faccia opposta dove si confronta il difetto è ora il volto di tensione

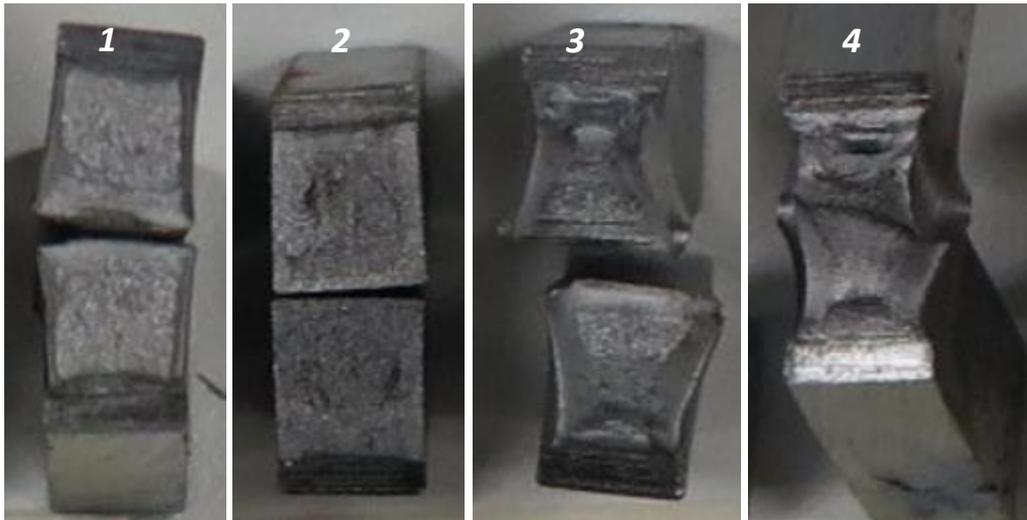
2.7.1.3. Esercizio 2 | Dimostrazione

- A. Calcola l'allungamento sul campione che hai ricevuto; considerare una larghezza iniziale della saldatura di 15 mm
- B. misurare la dimensione del campione ricevuto e definire se è conforme alla norma ISO 5173 e può essere testato secondo lo stesso metodo di prova standard
- C. misurare l'angolo al quale è stato piegato il campione ricevuto

2.7.2. Prova Charpy di resistenza all'urto di metalli ed esercizi di giunzioni saldate

2.7.2.1. Esercizio 1

Riorganizzare le seguenti immagini dei campioni con intaglio a V Charpy testati da quello testato a temperatura più bassa fino a quello testato a temperatura più alta, elencare i numeri di riferimento nell'ordine corretto. Quindi ordinare gli esemplari da quello con la massima espansione laterale a quello con la minore.



Infine, provare a stimare l'intervallo dell'area di taglio a frattura di ciascun provino con un errore del 5% (es. provino X relativo ad un'area di taglio nell'intervallo 10÷20%).

1.1.1.1. Esercizio 2 | Dimostrazione

- A. misurare l'espansione laterale del campione rotto ricevuto
- B. verificare la dimensione del campione ricevuto e confermare se le tolleranze della ISO 148-1 sono soddisfatte

1.1.2. Prove di frattura di giunti saldati Esercizi

1.1.2.1. Esercizio 1

Descrivi dove posizioneresti la tacca su questi tipi di campioni:

- saldatura di testa in acciaio al carbonio, spessore 20 mm
- saldatura di testa in acciaio inox, spessore 25 mm

e definisci se il raffreddamento del provino prima della rottura è suggerito per limitare le deformazioni plastiche, quindi seleziona una delle seguenti opzioni e spiega la tua risposta:

- il raffreddamento è suggerito su entrambi i campioni (acciaio al carbonio e acciaio inossidabile)
- il raffreddamento è consigliato solo su acciaio al carbonio
- il raffreddamento è consigliato solo su acciaio inox

1.1.2.2. Esercizio 2 | Dimostrazione

- A. identificare e misurare le imperfezioni dei campioni ricevuti
- B. identificare il tipo di tacca e calcolare l'area di esame sul provino ricevuto

2.7.3. Esercizi sulle prove di durezza dei giunti saldati

2.7.3.1. Esercizio 1

Quali sono i passaggi prima di misurare la durezza Vickers di un materiale?

1. Posiziona il campione sulla piattaforma del palco.
2. Spostare il campione in posizione.
3. Scorri per mettere a fuoco.
4. Selezionare il metodo di prova e caricare.
5. Scegli un obiettivo e un nome per l'attività.
6. Utilizzare la telecamera panoramica per posizionare il penetratore.
7. Inizia il test del penetratore.

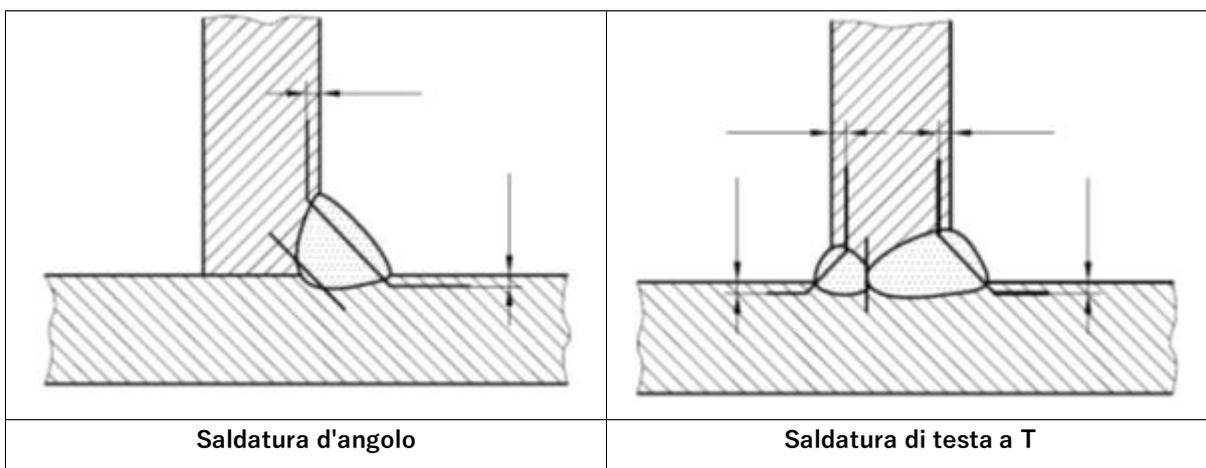
2.7.3.2. Esercizio 2

Quale condizione della superficie è necessaria per il test di durezza Vickers?

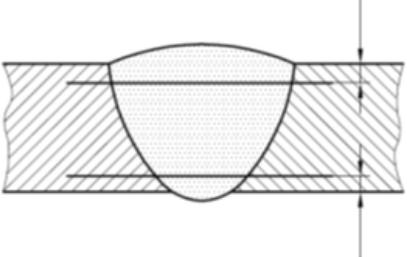
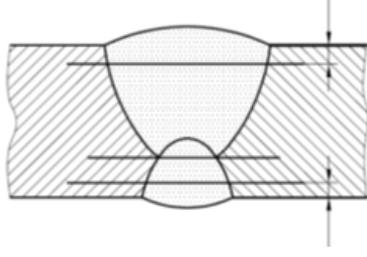
La condizione della superficie richiesta per la prova di durezza Vickers dipende dal carico utilizzato. Per le prove di macrodurezza, i carichi applicati devono essere superiori a 1 kgf (HV1) e la superficie deve essere rettificata. Generalmente viene applicato un carico HV10.

2.7.3.3. Esercizio 3 | Dimostrazione

Per la qualificazione di una procedura di saldatura (tutte le posizioni di saldatura), si prega di segnare la distanza e il numero di rientranze dove deve essere misurata la durezza del provino:





	
<p>Saldate di testa da un solo lato entrambe singole e multirun</p>	<p>Saldatura testa a testa da entrambi i lati sia singola che multipassata</p>



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



3. Incertezza di misura

3.1. Metodi generali di calcolo delle incertezze

Nessuna misura è esatta. Quando viene misurato un valore, il risultato dipende dal sistema di misurazione, dalla procedura di misurazione, dall'abilità dell'operatore, dall'ambiente e da altri effetti.

Anche se la grandezza dovesse essere misurata più volte, nello stesso modo e nelle stesse circostanze, in genere si otterrebbe ogni volta un valore misurato diverso, ammesso che il sistema di misura abbia una risoluzione sufficiente per distinguere tra i valori.

La dispersione dei valori misurati sarebbe correlata a quanto bene viene eseguita la misurazione. La loro media fornirebbe una stima del vero valore della grandezza che generalmente sarebbe più attendibile di un singolo valore misurato. La dispersione e il numero di valori misurati fornirebbero informazioni relative al valore medio come stima del valore reale. Tuttavia, queste informazioni non sarebbero generalmente adeguate.

In metrologia l'incertezza di misura è l'espressione della dispersione statistica dei valori attribuiti ad una grandezza misurata. Tutte le misurazioni sono soggette a incertezza e un risultato di misurazione è completo solo quando è accompagnato da una dichiarazione dell'incertezza associata, come la deviazione standard. Per accordo internazionale, questa incertezza ha una base probabilistica e riflette una conoscenza incompleta del valore della quantità.

L'incertezza di misura è spesso assunta come la deviazione standard di una distribuzione di probabilità dello stato di conoscenza sui possibili valori che potrebbero essere attribuiti a una grandezza misurata. L'incertezza relativa è l'incertezza di misura relativa alla grandezza di una singola scelta particolare per il valore della quantità misurata, quando questa scelta è diversa da zero. Questa particolare singola scelta è solitamente chiamata valore misurato, che può essere ottimale in un senso ben definito (ad esempio, un valore medio). Pertanto, l'incertezza di misura relativa è l'incertezza di misura divisa per il valore assoluto del valore misurato, quando il valore misurato non è zero.

Questa incertezza dovrebbe essere segnalata come valore esplicito \pm o come incertezza implicita utilizzando il numero appropriato di cifre significative.

L'incertezza di misura è:

- un parametro associato al risultato di una misura, che caratterizza la dispersione dei valori veri ragionevolmente attribuibili al misurando [1].
- il dubbio che esiste sul risultato di qualsiasi misurazione [2].

- l'espressione della dispersione statistica dei valori assegnati ad una grandezza misurata [3].
- una valutazione completa dell'incertezza dovrebbe essere effettuata secondo JCGM 100:2008 [2]
- indipendentemente dal tipo di sorgenti, per la durezza, ci sono due possibilità per la determinazione dell'incertezza.
- una possibilità si basa sulla valutazione di tutte le sorgenti rilevanti che compaiono durante una calibrazione diretta. Come riferimento, è disponibile una linea guida Euramet [3];
- l'altra possibilità si basa sulla calibrazione indiretta utilizzando un blocco di riferimento di durezza (CRM - materiale di riferimento certificato) [3, 4].

3.1.1. Errore contro incertezza

È importante non confondere i termini "errore" e "incertezza".

L'errore è la differenza tra il valore misurato e il "vero valore" dell'oggetto misurato.

L'incertezza è una quantificazione del dubbio sul risultato della misurazione.

Quando possibile, si cerca di trovare una corrispondenza con eventuali errori noti: ad esempio, applicando correzioni dai certificati di calibrazione. Ma qualsiasi errore il cui valore non è noto è fonte di incertezza.

3.1.2. L'incertezza ei tipi di incertezza

L'approccio della Guida ISO ai calcoli di messaggistica unificata:

- Specifiche del misuratore:
 - compresa l'equazione completa
- Quantificazione delle incertezze significative in tutti i parametri:
 - A: dalle statistiche dell'esperimento ripetuto;
 - B: con qualsiasi altro mezzo (teoria, certificati, giudizio...).
- Espressa come deviazione standard;
- Combinazione secondo i principi dichiarati.

3.1.2.1. Deviazione standard

È la radice quadrata della Variante $V = S^2$



$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

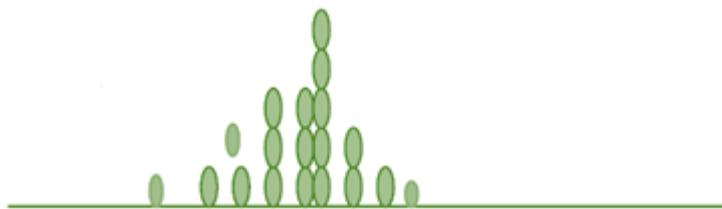


Figura76- Istogramma della deviazione standard.

1.1.1.1. L'incertezza tipo

È l'incertezza del risultato di una misurazione espressa come deviazione standard. L'incertezza standard è definita come una deviazione standard.

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Tutte le incertezze contributive dovrebbero essere espresse allo stesso livello di confidenza, convertendole in incertezze tipo. Un'incertezza tipo è un margine la cui dimensione può essere considerata "più o meno una deviazione standard". L'incertezza standard ci parla dell'incertezza di una media (non solo della diffusione dei valori). Un'incertezza tipo è solitamente indicata dal simbolo u o $u(y)$ (l'incertezza tipo in y).

1.1.1.2. Digitare una valutazione dell'incertezza

È l'incertezza valutata attraverso l'analisi statistica della serie di osservazioni.

Dai risultati ripetuti: Distribuzione uniforme = Distribuzione normale e incertezza tipo.

Distribuzione normale: viene utilizzata quando si effettua una stima da osservazioni ripetute di un processo che varia in modo casuale.

Viene quindi data un'incertezza come deviazione standard.

Deviazione standard della media (media s/\bar{x}): deviazione standard relativa (RSD) o coefficiente di variazione %.

Un'incertezza per una variabile con un intervallo di confidenza del 95% (o altro) è data come:

- $u(x) = k/2$ (per probabilità del 95%);
- $u(x) = k/3$ (per una probabilità del 99,7%).

Distribuzione normale: in un insieme di letture, è più probabile che i valori si avvicinino alla media piuttosto che oltre. Questo è tipico di una distribuzione normale (gaussiana). Questo tipo di distribuzione si distingue se l'insieme degli individui è calcolato da un grande gruppo di persone. La maggior parte delle persone è vicina all'altezza media; pochi sono estremamente alti o bassi.

La Figura 77 mostra un insieme di 10 valori "casuali" in una distribuzione approssimativamente normale.

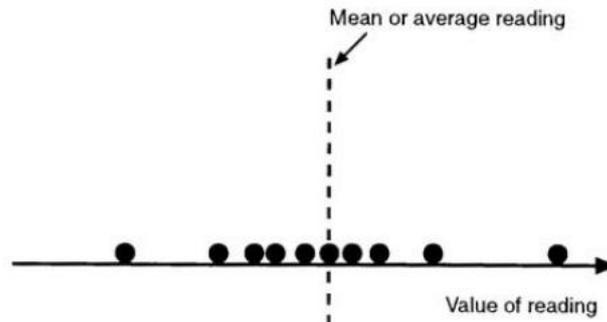


Figura77– "Blob plot" di un insieme di valori giacenti in una distribuzione normale.

Uno schizzo di una distribuzione normale è mostrato in Figura 78.

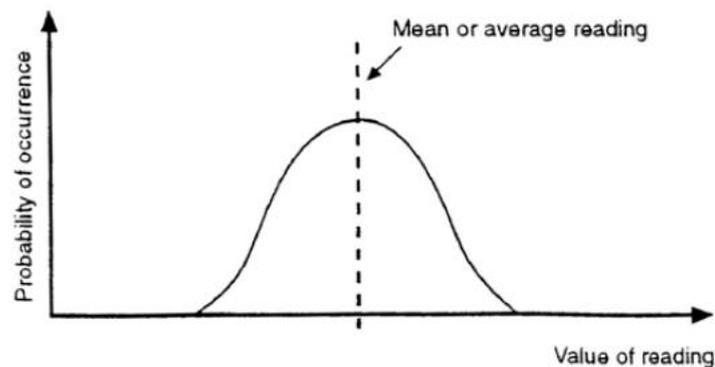


Figura78- Schema di una distribuzione "normale".

Quando è stata presa una serie di letture multiple ripetute (per una stima dell'incertezza di tipo A), è possibile calcolare la media, \bar{x} , e la deviazione standard stimata, s , per la serie. Da questi, l'incertezza tipo stimata, u , della media è calcolata da:

$$u = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Dove:

- N - Il numero di misurazioni nel set. (L'incertezza tipo della media è stata anche chiamata deviazione standard della media o errore standard della media.)

3.1.2.2. Valutazione dell'incertezza di tipo B

L'incertezza è valutata con mezzi diversi dall'analisi statistica della serie di osservazioni?

Da certificati e letteratura:

- Rettangolare: Divisore: $\sqrt{3}$
- Triangolare: Divisore: $\sqrt{6}$

Laddove le informazioni sono più scarse (in alcune stime di tipo B), è possibile stimare solo i limiti superiore e inferiore dell'incertezza. Potrebbe quindi essere necessario stimare che il valore abbia la stessa probabilità di cadere ovunque nel mezzo, cioè una distribuzione rettangolare o uniforme. L'incertezza tipo per una distribuzione rettangolare è calcolata da:

$$\frac{a}{\sqrt{3}}$$

Dove:

- *UN*- metà intervallo (o metà larghezza) tra i limiti superiore e inferiore.

Le distribuzioni rettangolari si verificano abbastanza frequentemente, ma possono esserci anche occasioni in cui è necessario l'uso della formula di calcolo.

La distribuzione rettangolare viene utilizzata quando le informazioni sono tratte da un certificato o da una specifica, che fornisce l'incertezza associata senza specificare il livello di confidenza.

Esempio:La purezza del cadmio è indicata come:

$$= 99,99 \pm 0,1\%.$$

Questi sono casi di distribuzione rettangolare (uniforme). In questo metodo, le distribuzioni sono tali che la probabilità delle singole unità (purezza) è più vicina agli estremi. Pertanto, viene effettuata una stima applicando la distribuzione rettangolare. COSÌ:

$$\text{Incetezza tipo assunta} = \text{metà ampiezza} / \text{Sq. } \sqrt{3}$$

3.1.2.3. Incertezza combinata

Le incertezze dei componenti vengono combinate per produrre un'incertezza complessiva.

Le singole incertezze tipo calcolate mediante valutazioni di tipo A o di tipo B possono essere validamente combinate mediante la "somma dei quadrati" (nota anche come "somma radice dei quadrati"). Il risultato è chiamato incertezza tipo composta, indicata con u_c o $u_c(y)$.

La sommatoria in quadratura è più semplice quando il risultato di una misurazione viene ottenuto mediante addizione o sottrazione. Di seguito sono trattati anche casi più complicati per moltiplicare e dividere le misurazioni, nonché altre funzioni.

- Le incertezze dei componenti sono combinate per produrre un'incertezza complessiva;
- Alcune delle incertezze possono annullarsi a vicenda;
- Alcuni possono essere interdipendenti;



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



- fattori di incertezza di tipo A e di tipo B;

- Quando si combinano tutti i fattori, questi devono essere convertiti in un'unità di misura simile (ad es. %; gm; ml; oC; un'unità in meno).

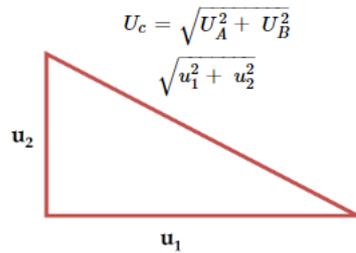


Figura79- Combinare le incertezze.

3.1.2.4. Incertezza estesa

In alcuni casi, l'incertezza tipo composta deve essere moltiplicata per il fattore di copertura appropriato.

$$U_E = k \cdot U_c$$

Dove:

- k – normalmente 1,96 o 2,00 per un livello di confidenza del 95%.

3.2. Incertezza di misura per prove di trazione, resilienza e durezza

Le incertezze di misura possono provenire dallo strumento di misura, dall'oggetto misurato, dall'ambiente, dall'operatore e da altre fonti. Tali incertezze possono essere stimate utilizzando l'analisi statistica di un insieme di misurazioni e utilizzando altri tipi di informazioni sul processo di misurazione. Esistono regole stabilite su come calcolare una stima complessiva dell'incertezza da queste singole informazioni. L'uso di buone pratiche - come calibrazione tracciabile, calcolo accurato, buona registrazione e verifica - può ridurre le incertezze di misura.

Quando l'incertezza in una misurazione viene valutata e dichiarata, l'idoneità allo scopo della misurazione può essere valutata di conseguenza.

Precisione della precisione: La relazione tra accuratezza e precisione può essere illustrata dall'esempio familiare di sparare con un fucile a un bersaglio in cui i punti neri in basso rappresentano i colpi sul bersaglio.

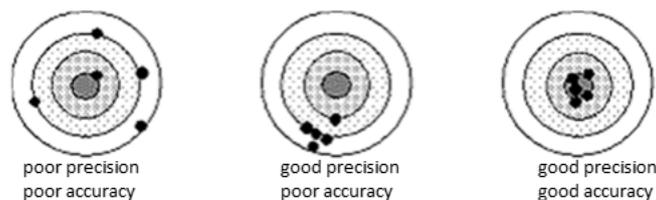


Figura80- Accuratezza di precisione.

Una buona precisione non significa necessariamente una buona accuratezza. Tuttavia, se uno strumento è ben calibrato, la precisione o riproducibilità del risultato è una buona misura della sua accuratezza.

Poiché c'è sempre un margine di dubbio su qualsiasi misurazione, dobbiamo chiederci: "Quanto è grande il margine?" e "Quanto è serio il dubbio?" Pertanto, sono davvero necessari due numeri per quantificare un'incertezza. Uno è la larghezza o la spaziatura del margine. L'altro è un livello di confidenza e afferma quanto siamo certi che il "vero valore" si trovi all'interno di questo intervallo.

Esempio:

Potremmo dire che la lunghezza di un particolare bastoncino misura 20 cm più/meno 1 cm, al livello di confidenza del 95%. Questo risultato potrebbe essere scritto:

20 cm \pm 1 cm, con un livello di confidenza del 95%.

La dichiarazione afferma che siamo sicuri al 95% che il bastoncino sia lungo tra 19 e 21 cm.

3.2.1. Determinazione dell'incertezza in diversi campi

È buona pratica in qualsiasi misurazione valutare e riportare l'incertezza associata ai risultati del test. Una dichiarazione di incertezza può essere richiesta da un cliente che desidera conoscere i limiti entro i quali si può presumere che si trovi il risultato riportato, oppure il laboratorio di prova stesso potrebbe desiderare di sviluppare una migliore comprensione di quali aspetti particolari della procedura di prova hanno il maggiore effetto sui risultati in modo che possa essere controllato più da vicino.

La determinazione dell'incertezza di misura può essere effettuata per:

- prove meccaniche su materiali metallici, determinazione delle incertezze durante le prove d'urto (martello di Charpy);
- prove meccaniche su materiali metallici, misure di durezza;
- prove meccaniche su materiali metallici, prove di incertezza a trazione;
- attività di valutazione della conformità;

3.2.1.1. Incertezza nelle prove di trazione

In ogni misura di trazione dobbiamo indicare in modo chiaro e inequivocabile il misurando, ovvero il valore finale di interesse. Spesso questa informazione relativa al misurando viene acquisita dalla lettura di un singolo strumento di misura.

Tale misurazione è considerata una misurazione diretta. Tuttavia, il significato metrologico della parola "misurazione" è più ampio. La parola "misurazione" si riferisce anche a quantità i cui valori sono stimati indirettamente sulla base dei valori, che possono essere stati o meno misurati direttamente.

Per stimare i valori dei misurandi, oggetto di una misurazione indiretta, deve essere stabilito un modello di misurazione appropriato. Il modello dovrebbe fornire un quadro realistico degli elementi coinvolti nella misurazione. Il modello deve essere documentato, generalmente in termini di una o più formule matematiche o può essere sotto forma di algoritmo.

Esempio. Il modulo di elasticità (E) di una lamiera viene solitamente determinato secondo la seguente formula:

$$E = \sigma / \epsilon$$

Dove:

σ - sta per sollecitazione e ϵ per deformazione ($\epsilon = (L - L_0) / L_0$, dove L_0 è la distanza originale tra i segni e L è la distanza finale tra i segni).

Un provino preparato viene posto in una macchina per prove di trazione. La macchina applicherà un carico L misurato direttamente con un trasduttore come una cella di carico. Allo stesso tempo, la distanza tra due segni sul provino allungato viene misurata direttamente con un estensimetro.

Il valore dello stress sarà quindi:

$$\sigma = FA/LA,$$

Dove

F - forza applicata

UN - sezione trasversale del campione.

L'area è valutata secondo il modello $A = ae$,

Dove:

UN - larghezza del provino

e - spessore (figura 81).

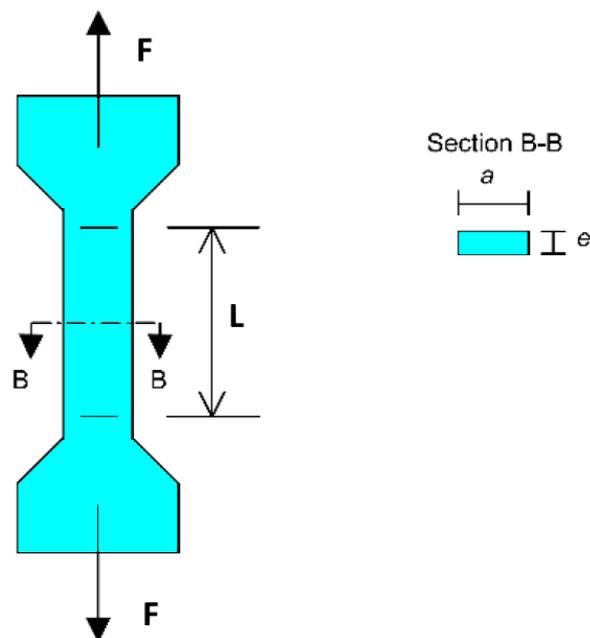


Figura81- Accuratezza di precisione.

Pertanto, in questo esempio il compito di valutazione è stato scomposto in sotto-modelli, per i quali le grandezze soggette a misurazione diretta sono F , L , a ed e , mentre A , σ ed ϵ sono grandezze intermedie. C'è anche la possibilità di combinare questi sottomodelli in un unico modello le cui quantità di input sono solo quelle misurate direttamente.

In generale, il modello di misura utilizzato dovrebbe essere considerato come una scatola nera, che raccoglie valori in ingresso e produce valori in uscita. I valori di input primari non devono necessariamente essere quelli misurati direttamente dal valutatore (valori che sono stati determinati in un'altra

occasione) o da altri osservatori. Le quantità di output non sono necessariamente i misurandi di interesse, perché possono fungere da quantità di input nel caso di un altro modello. Ad esempio, il modulo di elasticità

valore E , di una lamiera metallica, per calcolare la deformazione di una trave sotto un carico specifico, e potrebbe non essere necessario misurare E se il suo valore può essere stimato dai dati di letteratura. Ci riferiamo a una quantità il cui valore non è stimato come parte dell'attività di valutazione corrente come quantità importata. Anche il modello più semplice risulterà incompleto se non si tiene conto delle correzioni alle indicazioni degli strumenti utilizzati nelle misurazioni dirette.

Ogni grandezza X misurata direttamente va modellata come $X = A + B$, dove A è il valore associato alle indicazioni calibrate dello strumento e B è una grandezza che consiste in una o più grandezze correttive.

In alternativa, si può scrivere $X = A \times C$, dove C è un fattore di correzione.

Ad esempio, se le grandezze di input a ed e nel modello $A = ax$, sono state misurate con uno strumento comune, come un calibro, la correzione delle sue indicazioni induce una correlazione tra a ed e . Anche assumendo il valore di tale correzione pari a zero, la sua incertezza influirà sull'incertezza associata alla stima di A . Un'ulteriore complicazione di tale modello, da utilizzare, è dovuta al fatto che alcuni valori potrebbero non apparire esplicitamente nel modello, anche se modificano il valore di incertezza.

Per ottenere risultati di prova con un'incertezza di misura ridotta, si raccomanda di determinare l'area della sezione trasversale originale con una precisione di $\pm 1\%$ o migliore. Per materiali sottili possono essere necessarie tecniche di misurazione speciali.

Sono disponibili due metodi per testare le velocità. Il primo, metodo A, si basa sulle velocità di deformazione (inclusa la velocità di separazione della traversa) mentre il secondo, metodo B, si basa sulle velocità di sollecitazione.

Nota: La conoscenza di una grandezza può essere dedotta sia da misurazioni ripetute (chiamate stima di tipo A) sia da un giudizio scientifico basato su tutte le informazioni disponibili sulla possibile variabilità della quantità (chiamata stima di tipo B).

Il metodo A ha lo scopo di ridurre al minimo la variazione delle velocità di prova durante il momento in cui vengono determinati i parametri sensibili alla velocità di deformazione e di ridurre al minimo l'incertezza di misura dei risultati della prova.

Pertanto, e dato che spesso la sensibilità alla velocità di deformazione dei materiali non è nota, l'uso del metodo A è fortemente raccomandato.

Quando le attività di prova e taratura vengono eseguite al di fuori dei limiti di temperatura di 10 °C e 35 °C, la temperatura deve essere registrata e riportata. Se durante il test e/o la calibrazione sono presenti gradienti di temperatura significativi, l'incertezza di misura può aumentare e possono verificarsi condizioni fuori tolleranza.

L'analisi dell'incertezza di misura è utile per identificare le principali fonti di incoerenza dei risultati misurati.

Gli standard di prodotto e i database delle proprietà dei materiali basati e/o correlati alla ISO 6892 hanno un contributo intrinseco dell'incertezza di misura. Non è pertanto opportuno applicare ulteriori aggiustamenti per l'incertezza di misura e quindi rischiare di non riuscire a produrre un prodotto conforme. Per questo motivo, le stime dell'incertezza derivate seguendo questa procedura sono solo a scopo informativo.

Nota:Le condizioni di prova e i limiti definiti nel presente documento non devono essere adattati per tenere conto delle incertezze di misurazione e le incertezze di misurazione stimate non devono essere combinate con i risultati misurati per valutare la conformità alle specifiche del prodotto.

Sebbene ISO 6892-1 richieda la generazione di una linea retta con un dato offset parallela alla regione lineare della curva sforzo-deformazione al fine di determinare la resistenza alla flessione specificata, R_p , del materiale in prova, la maggior parte degli utenti di solito presuppone che la pendenza della regione elastica lineare della curva sforzo-deformazione corrisponde al modulo di elasticità del materiale in prova poiché il modulo di elasticità, E , è dato dalla relazione $E = \text{sforzo}/\text{deformazione}$. Tuttavia, in generale, l'estensimetro di Classe 1 richiesto per la prova di trazione non è sufficientemente preciso per misurare le deformazioni molto piccole nella regione elastica con sufficiente precisione per fornire valori di modulo con un livello di incertezza accettabile.

Per la considerazione dell'incertezza, vedere gli allegati K e L della ISO 6892, che forniscono una guida per la determinazione dell'incertezza relativa ai parametri metrologici e ai valori ottenuti dalle prove interlaboratorio su un gruppo di acciai e leghe di alluminio.

La stima dell'incertezza di misura per un determinato modulo di elasticità può essere effettuata secondo CWA 15261-2:2005, A.5 o secondo l'Allegato K della ISO 6892.

Nota: La stima dell'incertezza di misura secondo CWA 15261-2 si basa su valori assoluti. Ciò si traduce in stime diverse dei rispettivi singoli bilanci di incertezza, se ad esempio le dimensioni del pezzo di prova o la lunghezza utile dell'estensimetro differiscono. La stima dell'incertezza di misura secondo l'allegato K della norma ISO 6892 si basa su stime relative. Pertanto, le stime relative normalmente non cambieranno.

L'eccezione è il budget dell'incertezza di misura relativa per la misura della deformazione. A causa delle piccole estensioni durante la prova nella parte elastica, l'incertezza assoluta della misura della deformazione è rilevante per il contributo all'incertezza (secondo ISO 9513).

In CWA 15261-2, il simbolo L_o è utilizzato per la lunghezza utile e mE per la pendenza della parte elastica della curva forza-estensione. Per evitare confusione (diverso da CWA), il simbolo L_e è utilizzato per la lunghezza utile dell'estensimetro e SE per la pendenza della parte elastica della curva forza-estensione. L'incertezza di misura secondo CWA 15261-2 è data dalla formula seguente.

$$u_c(E) = \sqrt{\left(\frac{L_e}{S_o}\right)^2 \cdot u^2(S_E) + \left(\frac{S_E}{S_o}\right)^2 \cdot u^2(L_e) + \left(-\frac{S_E L_e}{S_o^2}\right)^2 \cdot u^2(S_o)}$$

Dove:

L_e - lunghezza del calibro dell'estensimetro;

Quindi - area della sezione trasversale originale;

SE - pendenza della curva forza-estensione;

$u(SE)$ - incertezza di pendenza della curva forza-estensione;

$u(L_e)$ - incertezza della lunghezza utile dell'estensimetro;

$u(S_o)$ - incertezza dell'area della sezione trasversale originale.

Nota: In caso di riproduzione dei test, i valori di riproducibilità utilizzati nelle tabelle da 17 a 19 sono intervalli di mezza larghezza in conformità con la guida ISO/IEC 98-3 [7] e devono essere interpretati come il valore delle tolleranze di dispersione più e meno $[\pm]$.

L'incertezza tipo; u , del valore di un parametro può essere stimato in due modi.

a) Tipo A – Mediante misurazione ripetuta

$$u = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Dove:

S - deviazione standard delle misure;

N– numero di osservazioni di cui si calcola la media per riportare il risultato della misurazione in circostanze normali.

b) Tipo B – Da qualche altra fonte, ad esempio certificati di taratura o tolleranze

È ugualmente probabile che il valore vero si verifichi ovunque all'interno dell'intervallo definito, quindi la distribuzione è descritta come rettangolare o uniforme. Qui l'incertezza tipo è data dalla formula seguente.

$$u = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

Dove:

UN - metà dell'ampiezza dell'intervallo in cui si assume la quantità;

Spesso la stima di un valore; y implica la misurazione di altri valori. La stima dell'incertezza in y deve tener conto dei contributi delle incertezze in tutte queste misurazioni. È quindi noto come incertezza combinata. Se la stima implica semplicemente l'addizione o la sottrazione di una serie di misure, x_1, x_2, \dots, x_n , allora l'incertezza combinata in y , è data dalla formula sottostante.

$$u(y) = \sqrt{(u(x_1))^2 + (u(x_2))^2 + \dots + (u(x_n))^2}$$

Dove:

$u(x_1)$ - incertezza nel parametro x_1 ecc.

I parametri delle apparecchiature influenzano l'incertezza dei risultati dei test

L'incertezza dei risultati determinati da una prova di trazione contiene componenti dovute all'attrezzatura utilizzata. I vari risultati dei test hanno contributi di incertezza diversi a seconda del modo in cui sono determinati. La Tabella 17 indica i contributi all'incertezza dell'apparecchiatura che dovrebbero essere considerati per alcune delle proprietà dei materiali più comuni determinate in una prova di trazione. Alcuni dei risultati del test possono essere determinati con un'incertezza inferiore rispetto ad altri, ad esempio la resistenza allo snervamento superiore, R_{eH} , dipende solo dalle incertezze della misurazione della forza e dell'area della sezione trasversale, mentre la resistenza alla prova, R_p , dipende dalla forza, estensione, lunghezza utile, area della sezione trasversale e altri parametri. Per la riduzione dell'area, Z , è necessario considerare le incertezze di misurazione dell'area della sezione trasversale sia prima che dopo la frattura.

Parameter	Test results					
	R_{eH}	R_{eL}	R_m	R_p	A	Z
Force	X	X	X	X	—	—
Extension	—	—	—	X	X	—
Gauge length	—	—	—	X	X	—
S_o	X	X	X	X	—	X
S_u	—	—	—	—	—	X
X Relevant.						
— Not relevant.						

Tavolo17- contributori di incertezza ai risultati del test, dovuti ai dispositivi di misurazione.

L'incertezza dei risultati delle prove elencate nella tabella 17 può essere derivata dai certificati di taratura dei dispositivi utilizzati per la determinazione dei risultati delle prove. L'incertezza può essere significativamente maggiore o minore e si dovrebbe consultare il certificato dell'apparecchiatura. Dovrebbero essere presi in considerazione anche i contributi all'incertezza dovuti a fattori quali la deriva dell'apparecchiatura dalla sua calibrazione e il suo utilizzo in diverse condizioni ambientali.

Parametri dipendenti dal materiale e/o dalla procedura di prova

La precisione dei risultati della prova di trazione dipende da fattori relativi al materiale in prova, alla macchina di prova, alla procedura di prova e ai metodi utilizzati per calcolare le proprietà del materiale specificato. Idealmente, dovrebbero essere considerati tutti i seguenti fattori:

- a. temperatura di prova;
- b. tassi di test;
- c. la geometria e la lavorazione del pezzo di prova;
- d. il metodo di presa del provino e l'assialità dell'applicazione della forza;
- e. le caratteristiche della macchina di prova (rigidezza, guida e modalità di controllo);
- f. errori umani e software associati alla determinazione delle proprietà tensili;
- g. geometria di montaggio dell'estensimetro.

L'influenza di questi fattori dipende dal comportamento specifico del materiale e non può essere data come un valore definito. Se l'influenza è nota, può essere presa in considerazione nel calcolo dell'incertezza. È possibile includere ulteriori fonti di incertezza nella stima dell'incertezza di misura estesa. Questo può essere fatto utilizzando il seguente approccio.

- a. L'utente deve identificare tutte le possibili fonti aggiuntive, che possono avere un effetto, direttamente o indirettamente, sul parametro di prova da determinare.

- b. I contributi relativi possono variare in funzione del materiale testato e delle particolari condizioni di prova.

I singoli laboratori sono incoraggiati a preparare un elenco di possibili fonti di incertezza e valutare la loro influenza sul risultato. Se è stata determinata un'influenza notevole, tale incertezza; up deve essere incluso nel calcolo. L'incertezza; up è l'incertezza della sorgente i sul valore da determinare in percentuale come riportato nella Formula 10. Per ui si deve identificare la funzione di distribuzione del parametro specifico (normale, rettangolare, ecc.). Quindi deve essere determinata l'influenza sul risultato a livello di un sigma. Questa è l'incertezza tipo.

Le prove interlaboratorio possono essere utilizzate per determinare l'incertezza complessiva dei risultati in condizioni simili a quelle utilizzate nei laboratori industriali, ma tali prove non separano gli effetti legati alla disomogeneità del materiale da quelli attribuibili al metodo di prova.

Va notato che, man mano che saranno disponibili materiali di riferimento certificati idonei, offriranno un mezzo utile per stimare l'incertezza di misura su una data macchina di prova, inclusa l'influenza di prese, piegature, ecc., che al momento sono difficili da quantificare.

In alternativa, si raccomanda di eseguire regolari test interni per scopi di controllo della qualità su materiali con un basso livello di dispersione nelle proprietà (materiali di riferimento non certificati) [18].

Vi sono alcuni esempi per i quali è molto difficile fornire valori di incertezza accurati senza materiali di riferimento. Quando i valori di incertezza affidabili sono importanti, in alcuni casi, si raccomanda l'uso di un materiale di riferimento certificato o materiale di riferimento non certificato per confermare l'incertezza delle misurazioni.

La seguente procedura descriverà in dettaglio i passaggi per la stima dell'incertezza relativa all'incertezza nelle prove di trazione.

La valutazione dell'incertezza associata ai risultati del test (o della calibrazione) si basa sui seguenti concetti di base:

- la conoscenza di qualsiasi quantità che influenza il risultato di una misurazione è in linea di principio incompleta e può essere espressa da una funzione di densità di probabilità (pdf) dei valori probabili della quantità.

- la media della densità di probabilità è considerata la migliore stima del valore della grandezza. La deviazione standard della densità di probabilità è presa come incertezza tipo nella determinazione del valore della quantità.
- conoscenza di una grandezza (stima di tipo A o B).

L'incertezza nella misurazione di una dimensione di un provino di trazione influenzerà la misurazione della resistenza alla trazione perché le dimensioni sono necessarie per calcolare la sollecitazione. Questo è noto come propagazione dell'incertezza, che è ancora un concetto centrale per la stima dell'incertezza.

È necessario determinare un modello per la propagazione delle incertezze e utilizzarlo per calcolare l'incertezza combinata di parametri come la resistenza alla trazione. Nelle prove meccaniche, i modelli linearizzati si trovano per lo più applicabili e può essere applicata una derivazione radice-somma-quadrato per calcolare l'incertezza associata a un misurando (quantità di uscita) dalle incertezze di varie misure di influenza (quantità di ingresso). ciascuno opportunamente ponderato con coefficienti di sensibilità.

La procedura di stima dell'incertezza, con particolare riferimento alle prove meccaniche, può essere suddivisa nelle seguenti fasi:

1. Individuazione dei parametri per i quali stimare l'incertezza;
2. Identificazione di tutte le fonti di incertezza nel test;
3. Classificazione dell'incertezza in Tipo A e B;
4. Stima dell'incertezza tipo per ciascuna fonte di incertezza;
5. Calcolo dell'incertezza combinata per i parametri individuati al punto 1);
6. Calcolo dell'incertezza estesa;
7. Risultati dei rapporti.

La prova di trazione è una delle prove meccaniche più comuni eseguite per quantificare le proprietà di rigidità, resistenza e duttilità dei materiali.

Essenzialmente, la prova di trazione consiste nel caricare, a una velocità costante di spostamento o deformazione, un provino, fornendo una lunghezza (calibro) di materiale di sezione trasversale uniforme, fino alla rottura. La forza (più comunemente chiamata carico) subita dal provino e l'estensione del tratto utile vengono monitorate durante la prova per calcolare le varie proprietà caratteristiche

del materiale. Tipicamente, i provini hanno una sezione trasversale rettangolare o circolare nella regione di calibro. La sollecitazione ingegneristica subita dal materiale nella regione del calibro in qualsiasi momento durante la prova si ottiene dividendo la forza esercitata sul provino per l'area della sezione trasversale iniziale del calibro. La tensione ingegneristica appropriata è data dal rapporto tra l'estensione del calibro e la lunghezza del calibro iniziale.

Passo 1. Individuare i parametri per i quali stimare l'incertezza.

Quasi sempre nelle prove meccaniche, le misure (quantità in uscita) che caratterizzano le proprietà del materiale non possono essere ricavate direttamente, ma devono essere calcolate dalle misure (quantità in ingresso) ottenute dai provini e da quelle effettuate durante la prova.

Passo 2. Identificare tutte le fonti di incertezza nel test.

Per la prova di trazione, devono essere classificate le principali fonti di incertezza. Le categorie stabilite possono cambiare con il materiale testato e le condizioni di prova.

Passaggio 3. Classificazione dell'incertezza secondo il tipo A o B.

Per prove meccaniche, le fonti di incertezza sono per lo più di tipo B, in quanto quantificabili da dati già disponibili.

Alcune delle fonti di incertezza possono essere direttamente correlate alle misurazioni primarie effettuate durante una prova meccanica, influenzando quindi direttamente la qualità delle misurazioni. Tuttavia, anche altri fattori possono influire sulla sua qualità. Altri fattori come la rugosità della superficie, la dimensione del campione e la temperatura ambiente hanno una debole influenza su s , 0,2%.

Passaggio 4. Stimare l'incertezza tipo per ciascuna fonte di incertezza.

L'incertezza tipo è correlata alla deviazione standard del valore associato alla misurazione.

Se l'incertezza è di tipo A, cioè un numero di misure della grandezza fatte per ottenere la pdf, e la deviazione standard della distribuzione è stata calcolata essere s , allora l'incertezza è data da $u = t(P, f) \cdot s$, dove $t(P, f)$ è un fattore ottenuto dalla distribuzione di Student per il livello di confidenza P (tipicamente 68,27%) e $(n-1)$ gradi di libertà, dove n è il numero di misure effettuate.

Se l'incertezza è di tipo B, si può assumere una distribuzione rettangolare. Ad esempio, se si sa che la precisione di un dispositivo di misurazione delle dimensioni è x e viene misurata una dimensione di y , il valore effettivo della dimensione può essere ovunque nell'intervallo $y \pm x$. L'incertezza in questo caso è data da $u = x$.

Passaggio 5. Calcolo dell'incertezza combinata u_c

Questo è di solito l'elemento più difficile nel processo di stima delle incertezze dei risultati dei test meccanici. Si basa sulla relazione causa-effetto che lega il risultato delle misurazioni al misurando.

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i \cdot u(x_i)]^2}$$

Dove:

x_i - il coefficiente di sensibilità associato a x_i .

Tale modello presuppone che le singole fonti di incertezza non siano correlate.

Il coefficiente di sensibilità c può essere ricavato dalla relazione funzionale del misurando alle misure, ovunque esistano tali relazioni.

A seconda della resistenza alla trazione della temperatura di prova, è imperativo sviluppare relazioni empiriche a lungo termine, sebbene queste possano essere limitate a una sola classe di materiale o a un intervallo di temperatura definito.

L'applicazione dell'equazione dell'incertezza combinata si comprende meglio utilizzandola per il caso specifico della prova di trazione. Per un provino di sezione rettangolare, l'area iniziale è data in termini di larghezza e larghezza da:

$$A_0 = a_0 \cdot b_0$$

I coefficienti di sensibilità associati ad a_0 e b_0 sono dati da:

$$c_{a_0} = b_0 \quad c_{b_0} = a_0$$

e l'incertezza in A_0 può essere espressa da $u_{A_0} =$

Dove:

u_{a_0} e u_{b_0} - le singole incertezze nella misurazione di a_0 e b_0 .

Poiché una derivazione dell'incertezza combinata delle varie misurazioni in una prova di trazione può essere piuttosto complicata, la forma finale di alcune delle grandezze di output più comunemente richieste è riassunta nella Tabella della norma.

In relazione alla derivazione delle incertezze combinate, se manca un modello matematico per il test, i laboratori possono elencare quelle grandezze e parametri che possono avere un'influenza rilevante sull'incertezza e tentare di stimare il loro contributo all'incertezza complessiva.

Passaggio 6. Calcolo dell'incertezza estesa U .

L'incertezza estesa, U_c , è definita come "l'intervallo intorno al risultato di una misurazione che ci si può aspettare comprenda gran parte della distribuzione dei valori che potrebbero ragionevolmente essere assegnati al misurando". Si ottiene moltiplicando l'incertezza combinata, u_c , per un fattore di copertura, k , selezionato in base al livello di confidenza richiesto.

Per una distribuzione di probabilità normale, il fattore di copertura più comunemente utilizzato è 2, che corrisponde a un intervallo di confidenza del 95,4% (in realtà il 95% per scopi più pratici). L'incertezza estesa, U , è quindi più ampia dell'incertezza combinata, u_c .

Passaggio 7. Segnalazione dei risultati.

Una volta stimata l'incertezza estesa, i risultati dovrebbero essere riportati come segue:

$$V = y \pm U$$

Dove:

v - valore stimato del misurando,

s - risultato medio del test (o misurazione),

U - incertezza estesa associata a y .

L'incertezza estesa riportata si basa su un'incertezza tipo moltiplicata per un fattore di copertura, $k = 2$, che per una distribuzione normale corrisponde a una probabilità di copertura, p , di circa il 95 %.

1.1.1.1. Incertezza nei test di Charpy

La ISO 148-1 specifica nell'allegato un metodo per determinare l'incertezza, u (KV), associata all'energia media assorbita, KV, di una serie di provini di un materiale di prova. Altri metodi di valutazione di u (KV) possono essere sviluppati, se soddisfano i requisiti del GUM. Questo approccio richiede input dalla "verifica indiretta" della macchina per prove d'urto a pendolo Charpy, che è un metodo normativo per valutare le prestazioni dello strumento con provini di riferimento (vedere ISO 148-2).

Nota: La serie ISO 148 richiede che le macchine per prove di impatto con pendolo Charpy soddisfino con successo i requisiti per la verifica sia indiretta che diretta. Quest'ultimo consiste in un controllo di tutti i singoli requisiti geometrici e meccanici imposti alla costruzione dello strumento (vedi ISO 148-2).



I ruoli della verifica diretta e indiretta nella catena di riferibilità metrologica delle misure Charpy sono riportati nella Figura 82. La catena inizia a livello internazionale con la definizione del misurando,

KV, o energia assorbita, nelle procedure standard descritte nella serie ISO 148.

I laboratori di calibrazione utilizzano i campioni di riferimento certificati per verificare la loro macchina di riferimento e possono utilizzare il loro pendolo per caratterizzare e produrre campioni di riferimento. A livello utente, i laboratori di prova Charpy possono verificare il loro pendolo con campioni di riferimento per ottenere valori KV affidabili.

Nota: Gli utenti possono scegliere di acquisire provette di riferimento certificate da organizzazioni nazionali o internazionali, scavalcando il livello del laboratorio di taratura.

L'analisi dell'incertezza di misura è utile per identificare le principali fonti di incongruenze nei risultati misurati.

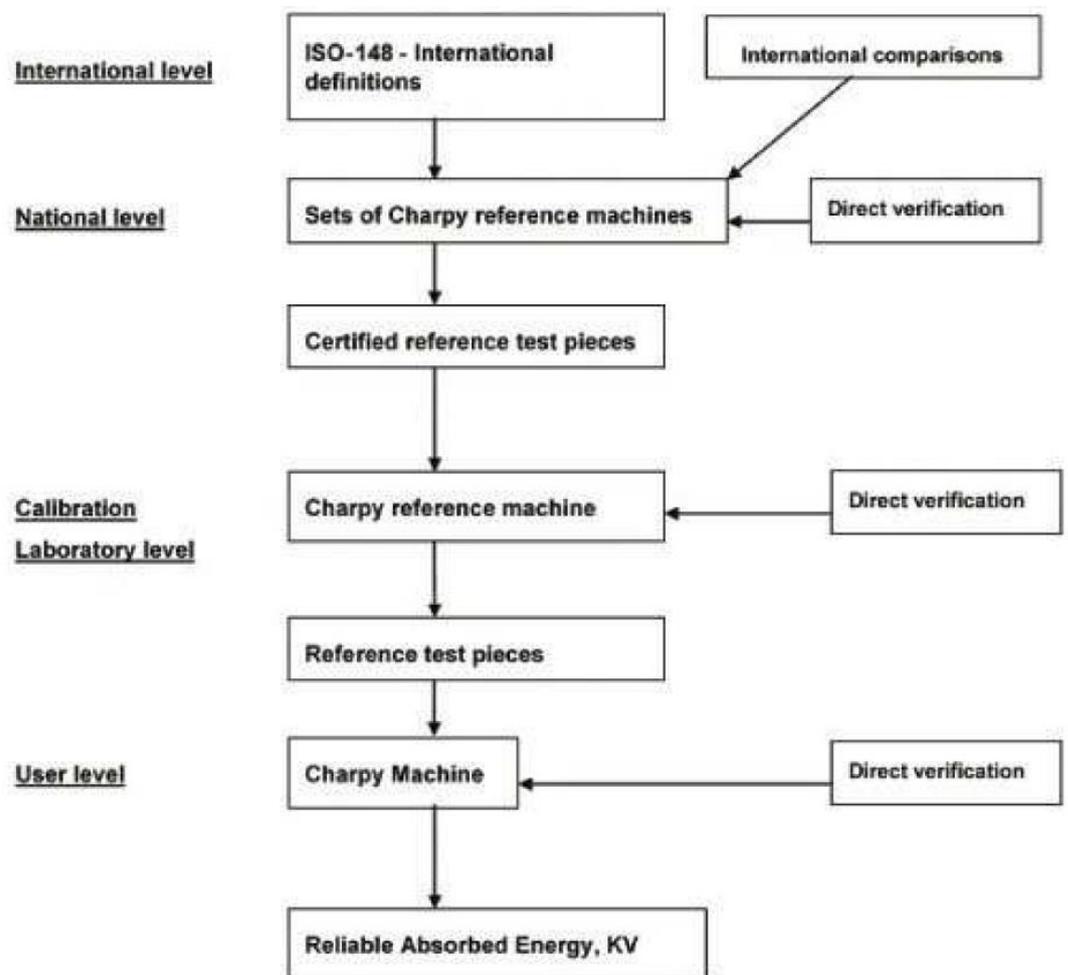


Figura82- Struttura della catena di tracciabilità metrologica per la definizione e diffusione delle scale di energia assorbita della prova di impatto Charpy.

Gli standard di prodotto e i database delle proprietà dei materiali basati su questa parte della ISO 148 hanno un contributo intrinseco dell'incertezza di misura. Non è quindi appropriato applicare ulteriori aggiustamenti per l'incertezza di misura e quindi rischiare che un prodotto non sia conforme. Per

questo motivo, le stime di incertezza derivate dall'applicazione di questa procedura sono solo a scopo informativo, salvo specifica indicazione contraria da parte del cliente.

Le condizioni di prova e i limiti definiti in questa parte della ISO 148 non devono essere adattati per tener conto delle incertezze di misurazione, a meno che non sia specificatamente indicato diversamente dal cliente. Le incertezze di misura stimate non devono essere combinate con i risultati misurati per valutare la conformità alle specifiche del prodotto, salvo specifica indicazione contraria da parte del cliente. Le tolleranze indicate sono invece da intendersi come intervalli di accettazione. Questo approccio presuppone che le misurazioni siano effettuate con un'incertezza di misura massima tacitamente accettata. Ove possibile, questa massima incertezza di misura è stata specificata nella versione attuale della serie ISO 148. Le incertezze di misura dei valori misurati dovrebbero essere inferiori ai valori indicati.

Fattori che contribuiscono all'incertezza

I principali fattori che contribuiscono all'incertezza sono associati a:

- a. distorsione della macchina dedotta dalla verifica indiretta,
- b. omogeneità del materiale di prova e ripetibilità della macchina;
- c. temperatura di prova.

L'equazione di misura per l'energia media assorbita KV è la seguente formula.

$$\overline{KV} = \bar{x} - B_V - T_x$$

Dove:

\bar{x} – energia assorbita media osservata di n provini;

B_V -distorsione dello strumento basata sulla verifica indiretta;

T_x - distorsione dovuta alla temperatura.

Come regola [18], i valori misurati dovrebbero essere corretti per errori noti. La verifica indiretta è un modo per stabilire il valore del bias. La polarizzazione della macchina determinata dalla verifica indiretta è definita nella ISO 148-2, come indicato nella formula seguente.

$$B_V = \overline{KV_V} - \overline{KV_R}$$

Dove:

$\overline{KV_V}$ – valore medio del test di riferimento pezzi rotti durante la verifica indiretta;



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



KVR -valore certificato delle provette di riferimento;

A seconda di quanto è noto il valore di BV, vengono proposte diverse azioni nella ISO 148-2 che si occupa dell'incertezza associata ai risultati della verifica indiretta.

- a. Diè ben noto e stabile. In questo caso eccezionale, il valore osservato x viene corretto di un termine pari a B_y per ottenere KV.
- b. Molto spesso, non ci sono prove certe sulla stabilità del valore di BV. In questo caso, il bias non viene corretto, ma contribuisce a u_V , l'incertezza del risultato della verifica indiretta.

In entrambi i casi, un'incertezza; u_V , associato al risultato della verifica indiretta e alla polarizzazione della macchina, è calcolato secondo le procedure descritte nella norma ISO 148-2. L'esito dell'analisi dell'incertezza della verifica indiretta è il valore u_V .

Se c'è una differenza significativa tra i valori di KVV e KV, allora i valori BV e u_V devono essere moltiplicati per il rapporto KV/KVV .

Ripetibilità della macchina ed eterogeneità dei materiali

L'incertezza di x , l'energia media osservata assorbita da n provini, è determinata utilizzando la formula seguente.

$$u(\bar{x}) = \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

Dove:

s_x -deviazione standard dei valori ottenuti sugli n campioni di prova.

Il valore s_x è causato da due fattori:

- ripetibilità della macchina;
- eterogeneità del materiale da campione a campione.

Questi fattori sono confusi e, pertanto, sono entrambi inclusi in questo termine. Si consiglia di riportare l'incertezza di misura totale con il valore di s_x come misura conservativa per la variazione di KV dovuta all'eterogeneità del materiale.

Il valore di v_x , il numero di gradi di libertà di $u(x)$, è calcolato come $n-1$.

Bias di temperatura

L'effetto della polarizzazione della temperatura, TX, sull'energia assorbita è estremamente dipendente dal materiale. Se l'acciaio viene testato nella regione di transizione da fragile a duttile, piccole variazioni di temperatura possono corrispondere a grandi differenze nell'energia assorbita. Al momento della pubblicazione, non è possibile presentare un approccio generico e accettato al calcolo del contributo all'incertezza dell'energia assorbita corrispondente all'incertezza della temperatura di prova misurata. Si propone invece di integrare l'indicazione dell'incertezza di misura in termini di energia assorbita con un'affermazione a parte

u_T , l'incertezza della temperatura di prova alla quale è stata misurata l'energia assorbita.

Risoluzione della macchina

L'effetto della risoluzione della macchina è nella maggior parte dei casi trascurabile rispetto agli altri fattori che contribuiscono all'incertezza. Un'eccezione è il caso in cui la risoluzione della macchina è grande e l'energia misurata è bassa. In tal caso, il contributo di incertezza corrispondente viene calcolato utilizzando la formula seguente.

$$u(r) = \frac{r}{\sqrt{3}}$$

Dove:

R -risoluzione della macchina

Il corrispondente numero di gradi di libertà è ∞ .

Incertezza combinata ed estesa

Per calcolare $u(KV)$, i fattori che contribuiscono all'incertezza devono essere combinati. Poiché u_T è trattato separatamente e poiché i termini $u(x)$, u_V e $u(r)$ sono indipendenti l'uno dall'altro, l'incertezza tipo composta è determinata utilizzando la formula seguente.

$$u(\overline{KV}) = \sqrt{u^2(\bar{x}) + u_V^2 + u^2(r)}$$

Come regola generale: una procedura per stimare l'incertezza nell'energia del test di impatto Charpy deve seguire pochi passaggi.

Passo 1. Individuare i parametri per i quali stimare l'incertezza.

Il primo passo è elencare le quantità (misure) per le quali devono essere calcolate le incertezze. Spesso le misurazioni intermedie vengono registrate dal laboratorio ma non necessariamente comunicate al cliente.

Passo 2. Identificare tutte le fonti di incertezza nel test.

Nella fase 2, l'utente deve identificare tutte le possibili fonti di incertezza che possono avere un effetto (diretto o indiretto) sul test. L'elenco non può essere identificato in modo esaustivo in anticipo poiché è associato in modo univoco alla singola procedura di prova e all'apparecchiatura utilizzata.

Ciò significa che deve essere preparato un nuovo elenco ogni volta che cambia un particolare parametro di test (ad esempio, quando un plotter viene sostituito da un computer).

Nel caso della misurazione dell'energia assorbita dalla prova d'urto è molto difficile calcolare l'influenza di ciascuna fonte di incertezza. Avvicinarsi alla calibrazione utilizzando un materiale di riferimento certificato (CRM) e tenendo conto degli errori di precisione, della ripetibilità del CRM e della ripetibilità del campione di prova è generalmente l'approccio migliore. Per la verifica indiretta di una macchina ad impatto Charpy, dovrebbero essere eseguiti periodicamente 10 test (5 x 2 serie di campioni) utilizzando un unico CRM. Tuttavia, per un laboratorio che esegue test di impatto su una gamma di leghe, devono essere considerate diverse classi di resistenza del materiale.

Altre misure possono essere effettuate per verificare che le dimensioni del provino e la temperatura rientrino nei limiti di tolleranza. Se non lo sono, queste misure non vengono utilizzate per correggere i valori energetici, ma si riporta che:

- l'energia di impatto misurata viene misurata su un provino di diverse dimensioni;
- l'energia di impatto misurata viene misurata a una temperatura diversa.

Per semplificare i calcoli, si raccomanda di raggruppare le fonti significative di incertezza, nelle seguenti categorie:

1. Energia di ingresso Charpy dovuta al pezzo di prova e alla geometria dell'intaglio;
2. Incertezza nel sistema di test;
3. Incertezza nell'ambiente;
4. Incertezza nella procedura di prova.

Passaggio 3. Classificazione dell'incertezza secondo il tipo A o B.

Nella terza fase, le fonti di incertezza sono classificate come di tipo A o B, a seconda di come viene quantificata la loro influenza. Se l'incertezza è valutata con mezzi statistici (da un numero di osservazioni ripetute), è classificata come tipo A, se è valutata con qualsiasi altro mezzo, dovrebbe essere classificata come tipo B.

I valori associati alle incertezze di tipo B possono essere ottenuti da una serie di fonti, tra cui un certificato di calibrazione, le informazioni del produttore o la stima di un esperto. Per le incertezze di tipo B, l'utente è tenuto a stimare la distribuzione di probabilità più appropriata per ciascuna fonte.

Passaggio 4. Stimare l'incertezza tipo per ciascuna fonte di incertezza.

In questa fase viene stimata l'incertezza tipo per ciascuna fonte di input identificata. L'incertezza tipo è definita come una deviazione standard ed è derivata dall'incertezza della quantità di input divisa per il parametro, dv , associato alla distribuzione di probabilità presunta. Vengono forniti i divisori per le distribuzioni tipiche che è più probabile incontrare.

Le influenze individuali di ciascuna fonte di incertezza sull'energia assorbita sono molto complesse e poco pratiche. Il modo più semplice è utilizzare un CRM per calibrare l'intero sistema e considerare gli errori, la ripetibilità del CRM e la ripetibilità del campione di prova.

Passaggio 5. Calcolo dell'incertezza combinata u_c

Supponendo che le singole fonti di incertezza non siano correlate, l'incertezza combinata del misurando, $u_c(y)$, può essere calcolata utilizzando la radice della somma dei quadrati:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i \cdot u(x_i)]^2}$$

Dove:

x_i - il coefficiente di sensibilità associato a x_i .

Questa incertezza corrisponde a più o meno una deviazione standard sulla legge della distribuzione normale che rappresenta la quantità studiata.

Passaggio 6. Calcolo dell'incertezza estesa U .

L'incertezza estesa, U , è definita come "l'intervallo intorno al risultato di una misurazione che ci si può aspettare comprenda gran parte della distribuzione dei valori che potrebbero ragionevolmente essere assegnati al misurando". Si ottiene moltiplicando l'incertezza combinata, u_c , per un fattore di copertura, k , selezionato in base al livello di confidenza richiesto.

Per una distribuzione di probabilità normale, il fattore di copertura più comunemente utilizzato è 2, che corrisponde a un intervallo di confidenza del 95,4% (in realtà il 95% per scopi più pratici). L'incertezza estesa, U , è quindi più ampia dell'incertezza combinata, u_c .

Laddove il cliente richieda un livello di confidenza più elevato (come per il settore aerospaziale, elettronico, ecc.), viene utilizzato un fattore di copertura pari a 3 in modo che il livello di confidenza corrispondente aumenti al 99,73%.

Nei casi in cui la distribuzione di probabilità di uc non è normale o in cui il numero di punti dati utilizzati nell'analisi di tipo A è piccolo, il valore di k dovrebbe essere calcolato dai gradi di libertà dati dal metodo Welsh-Satterthwaite.

Passaggio 7. Segnalazione dei risultati.

Una volta stimata l'incertezza estesa, i risultati dovrebbero essere riportati come segue:

$$V = y \pm U$$

Dove:

v- valore stimato del misurando,

si- risultato medio del test (o misurazione),

U- incertezza estesa associata a y.

L'incertezza estesa riportata si basa su un'incertezza tipo moltiplicata per un fattore di copertura, k = 2, che per una distribuzione normale corrisponde a una probabilità di copertura, di circa il 95%.

3.2.1.2. Incertezza nel test di flessione

Una procedura per stimare l'incertezza nella misurazione della durezza mediante il metodo di calibrazione indiretta, ci sono diversi passaggi da seguire.

Passo 1. Individuare i parametri per i quali stimare l'incertezza.

Il primo passo è elencare le grandezze (misure) per le quali devono essere calcolate le incertezze che sono presentate nella tabella 17, che presenta i parametri che sono solitamente riportati nelle misure di durezza con il metodo della calibrazione indiretta. Nessuna di queste misurazioni è misurata direttamente, ma è determinata da altre quantità (o misurazioni).

Passo 2. Identificare tutte le fonti di incertezza nel test.

Nella fase 2, l'utente deve identificare tutte le possibili fonti di incertezza che possono avere un effetto (diretto o indiretto) sul test. L'elenco non può essere identificato in modo esaustivo in anticipo poiché è associato in modo univoco alla singola procedura di prova e all'apparecchiatura utilizzata.

Questa procedura deve includere stime relative alle seguenti fonti, utilizzando il metodo di calibrazione indiretta:

- Incertezza dovuta alla calibrazione dei blocchi di riferimento;
- L'incertezza dell'errore massimo ammissibile secondo gli standard;
- Incertezza dovuta alla ripetibilità in determinate condizioni di prova;

Passaggio 3. Classificazione dell'incertezza secondo il tipo A o B.

Nella terza fase, le fonti di incertezza sono classificate come di tipo A o B, a seconda di come viene quantificata la loro influenza. Se l'incertezza è valutata con mezzi statistici (da un numero di osservazioni ripetute), è classificata come tipo A, se è valutata con qualsiasi altro mezzo, dovrebbe essere classificata come tipo B.

I valori associati alle incertezze di tipo B possono essere ottenuti da una serie di fonti, tra cui un certificato di calibrazione, le informazioni del produttore o la stima di un esperto. Per le incertezze di tipo B, l'utente è tenuto a stimare per ciascuna fonte la distribuzione di probabilità più appropriata.

Passaggio 4. Stimare l'incertezza tipo per ciascuna fonte di incertezza.

In questa fase viene stimata l'incertezza tipo, u , per ogni sorgente di input identificata. L'incertezza tipo è definita come una deviazione standard ed è derivata dall'incertezza della quantità di input divisa per il parametro, dv , associato alla distribuzione di probabilità presunta. Vengono forniti i divisori per le distribuzioni tipiche che è più probabile incontrare.

In molti casi, la quantità di input della misurazione potrebbe non essere nelle stesse unità della quantità di output. Ad esempio, un contributo alla durezza è la rugosità superficiale. In questo caso la grandezza in ingresso è la rugosità (mm) ma la grandezza in uscita è la durezza che è HRB. In tal caso, viene utilizzato un coefficiente di sensibilità per convertire la rugosità in HRB.

Passaggio 5.Calcolo dell'incertezza combinata u_c

Supponendo che le singole fonti di incertezza non siano correlate, l'incertezza combinata del misurando, $u_c(y)$, può essere calcolata utilizzando la radice della somma dei quadrati:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i \cdot u(x_i)]^2}$$

Dove:

x_i - il coefficiente di sensibilità associato a x_i .

Questa incertezza corrisponde a più o meno una deviazione standard sulla legge della distribuzione normale che rappresenta la quantità studiata.

L'incertezza combinata ha un livello di confidenza associato del 68,26%.

Passaggio 6.Calcolo dell'incertezza estesa U .

L'incertezza estesa, U , è definita come "l'intervallo intorno al risultato di una misurazione che ci si può aspettare comprenda gran parte della distribuzione dei valori che potrebbero ragionevolmente essere assegnati al misurando". Si ottiene moltiplicando l'incertezza combinata, u_c , per un fattore di copertura, k , selezionato in base al livello di confidenza richiesto.

Per una distribuzione di probabilità normale, il fattore di copertura più comunemente utilizzato è 2, che corrisponde a un intervallo di confidenza del 95,4% (in realtà il 95% per scopi più pratici). L'incertezza estesa, U , è quindi più ampia dell'incertezza combinata, u_c .

Laddove il cliente richieda un livello di confidenza più elevato (come per il settore aerospaziale, elettronico, ecc.), viene utilizzato un fattore di copertura pari a 3 in modo che il livello di confidenza corrispondente aumenti al 99,73%.

Nei casi in cui la distribuzione di probabilità di uc non è normale o in cui il numero di punti dati utilizzati nell'analisi di tipo A è piccolo, il valore di k dovrebbe essere calcolato dai gradi di libertà dati dal metodo Welsh-Satterthwaite.

Passaggio 7. Segnalazione dei risultati.

Una volta stimata l'incertezza estesa, i risultati dovrebbero essere riportati come segue:

$$V = y \pm U$$

Dove:

v - valore stimato del misurando,

y - risultato medio del test (o misurazione),

U - incertezza estesa associata a y .

L'incertezza estesa riportata si basa su un'incertezza tipo moltiplicata per un fattore di copertura, $k = 2$, che per una distribuzione normale corrisponde a una probabilità di copertura, p , di circa il 95%.

1.1.1.1. Incertezza nei test di durezza

Indipendentemente dal tipo di sorgenti, per la durezza, ci sono due possibilità per la determinazione dell'incertezza.

- Una possibilità si basa sulla valutazione di tutte le sorgenti rilevanti che compaiono durante una calibrazione diretta. Come riferimento, è disponibile una linea guida Euramet [3];
- L'altra possibilità si basa sulla calibrazione indiretta utilizzando un blocco di riferimento di durezza (CRM - materiale di riferimento certificato) [3, 4]. Una linea guida per la determinazione è fornita nell'Allegato D della ISO 6507-1.

Potrebbe non essere sempre possibile quantificare tutti i contributi identificati all'incertezza. In questo caso, una stima dell'incertezza tipo di tipo A può essere ottenuta dall'analisi statistica delle rientranze ripetute nel provino. Occorre prestare attenzione, se si riassumono le incertezze tipo di tipo A e B, che i contributi non vengano conteggiati due volte (JCGM 100:2008, Clausola 4).

Nel determinare una tolleranza specifica che la macchina deve soddisfare, l'incertezza associata all'uso di strumenti di misurazione e/o standard di riferimento è stata incorporata all'interno di questa tolleranza e sarebbe pertanto inopportuno tenere ulteriormente conto di questa incertezza, ad esempio

, riducendo la tolleranza dell'incertezza di misura. Questo vale per tutte le misurazioni effettuate durante l'esecuzione di una verifica periodica della macchina.

La procedura calcola un'incertezza combinata, u_H , mediante il metodo della somma dei quadrati (RSS) dalle diverse fonti (Tabella 18 - contiene tutti i simboli e la loro designazione). L'incertezza estesa, U , è derivata da u_H moltiplicando per il fattore di copertura $k = 2$.

Il bias, b , di una macchina per prove di durezza (chiamato anche "errore"), che deriva dalla differenza tra:

- il valore di calibrazione certificato del blocco di riferimento della durezza utilizzato;
- il valore medio di durezza delle cinque impronte effettuate in questo blocco durante la calibrazione della macchina per prove di durezza (ISO 6507-2) può essere implementato in modi diversi nella determinazione dell'incertezza.

Vengono forniti due metodi per determinare l'incertezza delle misure di durezza:

- Il metodo M1 tiene conto della distorsione sistematica della macchina per la durezza in due modi diversi. In un approccio, il contributo all'incertezza derivante dalla distorsione sistematica viene aggiunto aritmeticamente a questo valore. Nell'altro approccio, viene apportata una correzione al risultato della misurazione per compensare l'errore sistematico.
- Il metodo M2 consente la determinazione dell'incertezza senza dover considerare l'entità del bias sistematico [2, 3].

Negli standard di prova di durezza, il materiale di riferimento certificato equivale al blocco di riferimento di durezza, ovvero un pezzo di materiale con un valore certificato e incertezza associata.

Procedure per il calcolo dell'incertezza: Valori di misurazione della durezza

A. Procedura con bias (metodo M1)

La procedura del metodo M1 per la determinazione dell'incertezza di misura è illustrata nella Tabella 17.

Ci si può aspettare che l'errore di misurazione, b , della macchina per prove di durezza sia un effetto sistematico. In JCGM 100:2008[2], si raccomanda di utilizzare una correzione per compensare gli effetti sistematici, e questa è la base di M1. Il risultato dell'utilizzo di questo metodo è che tutti i valori di durezza determinati,

X, devono essere ridotti di bo l'incertezza, U, deve essere aumentata di b. La procedura per la determinazione di UM1 è illustrata nella Tabella 18.

Step	Sources of uncertainty	Symbols	Formula	Literature/certificate	Example
1 M1,M2	Measurement result	x			$x = 410 \text{ HV } 30$
2 M1	Bias value, b , and uncertainty, U_{HTM} , of the bias of the hardness testing machine from the indirect verification	b U_{HTM} u_{HTM}	$u_{HTM} = \frac{U_{HTM}}{2}$	b and U_{HTM} according to an indirect verification report using a CRM of $\bar{H}_{CRM} = 401,6 \text{ HV } 30$ (see NOTE 1)	$b = 1,62 \text{ HV } 30$ $U_{HTM} = 5,14 \text{ HV } 30$ $u_{HTM} = \frac{5,14}{2} = 2,57 \text{ HV } 30$
3 M2	Maximum permissible deviation of the bias	b_E	$b_E = \text{Maximum positive value of permissible bias}$	Permissible bias, b , according to ISO 6507-2:2017, Table 5	$b_E = 3 \%$ $b_E = \frac{3 \times 410}{100} = 12,3 \text{ HV } 30$
4 M2	Standard uncertainty due to the maximum permissible deviation of the bias	u_E	$u_E = b_E / \sqrt{3}$	Rectangular distribution	$u_E = \frac{12,3}{\sqrt{3}} = 7,10 \text{ HV } 30$
5 M1,M2	The standard deviation of repeatability measurements	s_H	$s_H = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}$	Five measurements are made by the laboratory on a CRM having a hardness similar to the test sample (see NOTE 2)	$s_H = 3,2 \text{ HV } 30$
6 M1,M2	Standard uncertainty due to lack of repeatability	u_H	$u_H = t \times s_H$	$t = 1,14$ for $n = 5$ (see JCGM 100:2008)	$u_H = 1,14 \times 3,2 = 3,69 \text{ HV } 30$
7 M1,M2	Standard uncertainty due to resolution of the hardness value indicating display	u_{ms}	$u_{ms} = -\frac{2x}{d} \times \frac{\delta_{ms}}{2\sqrt{3}}$	$\delta_{ms} = 0,00051 \text{ mm}$ $x = 410 \text{ HV } 30$ $d = 0,3684 \text{ mm}$ (see NOTE 3)	$u_{ms} = -\frac{2 \times 410,0}{0,3684} \times \frac{0,00051}{2 \times \sqrt{3}} = -0,33 \text{ HV } 30$

Tavolo18- Determinazione dell'incertezza estesa secondo i metodi M1 e M2.

L'incertezza di misura estesa combinata per una singola misura di durezza, x , è calcolata secondo la formula seguente.

$$U_{M1} = k \cdot \sqrt{u_H^2 + 2 \cdot u_{ms}^2 + u_{HTM}^2}$$

Dove:

u_H - contributo all'incertezza di misura dovuto alla mancanza di ripetibilità della misura della macchina di prova di durezza;

u_{ms} - contributo all'incertezza di misura dovuto alla risoluzione della prova di durezza ma lombata. Devono essere considerate sia la risoluzione dello strumento indicatore di misura della lunghezza che la risoluzione ottica del microscopio di misura. Nella maggior parte dei casi, la risoluzione complessiva del sistema di misura dovrebbe essere inclusa due volte nel calcolo di u_H a causa della risoluzione indipendente delle posizioni di entrambe le estremità della diagonale;

u_{HTM} - contributo all'incertezza di misura dovuto all'incertezza tipo della misura di polarizzazione, b , generato dalla macchina di prova di durezza (questo valore è riportato come risultato della verifica indiretta definita nella ISO 6507-2) ed è definito secondo la formula seguente .

$$u_{HTM} = \sqrt{u_{CRM}^2 + u_{HCRM}^2 + u_{ms}^2}$$

Dove:

$t_{u_{CRM}}$ - contributo all'incertezza di misura dovuto all'incertezza di taratura del valore certificato del CRM secondo il certificato di taratura per $k = 1$;

$t_{u_{HCRM}}$ - contributo all'incertezza di misura dovuto alla combinazione della mancanza di ripetibilità della misura del durometro e della non uniformità della durezza del CRM, calcolata come deviazione standard della media delle misure di durezza durante la misura del CRM;

$t_{u_{SM}}$ - contributo all'incertezza di misura dovuto alla risoluzione della macchina per prove di durezza durante la misura del CRM.

Il risultato della misurazione può essere riportato in due modi:

- come X_{corr} , dove il valore della misurazione, x , è corretto per la deviazione della misurazione, b , calcolata secondo la formula seguente.

$$X_{corr} = (x - b) \pm U_{M1}$$

- come X_{ucorr} , dove il valore della misurazione, x , non è corretto per la deviazione della misurazione, b , e l'incertezza estesa, U , è aumentata del valore assoluto della deviazione secondo la formula seguente.

$$X_{ucorr} = x \pm [U_{M1} + |b|]$$

Quando si utilizza il metodo M1, può anche essere opportuno includere ulteriori contributi di incertezza all'interno del termine RSS relativo al valore di b impiegato. Ciò avverrà in particolare quando - la durezza misurata è significativamente diversa dai livelli di durezza dei blocchi utilizzati durante la calibrazione della macchina,

- il valore di polarizzazione della macchina varia in modo significativo in tutto il suo campo calibrato,
- il materiale misurato è diverso dal materiale dei blocchi di riferimento della durezza utilizzati durante la calibrazione della macchina,
- le prestazioni quotidiane (riproducibilità) della macchina per prove di durezza variano in modo significativo.

I calcoli di questi contributi aggiuntivi all'incertezza di misura non sono discussi qui. In tutte le circostanze, è necessario un metodo robusto per stimare l'incertezza associata a b .

B. Procedura senza bias (metodo M2)

In alternativa al metodo M1, in alcune circostanze può essere utilizzato il metodo M2. Il metodo M2 è valido solo per le macchine per prove di durezza che hanno superato una verifica indiretta secondo ISO 6507-2 utilizzando il valore $|b| + U_{HTM}$, piuttosto che solo il valore bias, b , quando si determina la conformità con la deviazione massima consentita della polarizzazione (ISO 6507-2). Nel metodo M2, la distorsione massima consentita, b_E , (la quantità positiva di cui la lettura della macchina può differire dal valore del blocco di riferimento), come specificato nella norma ISO 6507-2:2017. Non vi è alcuna correzione dei valori di durezza rispetto al limite di polarizzazione. La procedura per la determinazione di U è spiegata nella Tabella 17.

L'incertezza di misura estesa combinata per una singola misura di durezza futura viene calcolata secondo la formula seguente.

$$U_{M2} = k \cdot \sqrt{u_H^2 + 2 \cdot u_{ms}^2 + u_E^2}$$

Dove:

u_H - contributo all'incertezza di misura dovuto alla mancanza di ripetibilità della misura della macchina di prova di durezza;

u_{ms} - contributo all'incertezza di misura dovuto alla risoluzione della macchina di prova di durezza. Devono essere considerate sia la risoluzione dello strumento indicatore di misura della lunghezza che la risoluzione ottica del microscopio di misura. Nella maggior parte dei casi, la risoluzione complessiva del sistema di misura dovrebbe essere inclusa due volte nel calcolo di u_H a causa della risoluzione indipendente delle posizioni di entrambe le estremità della diagonale lunga;

u_E - contributo all'incertezza di misura dovuto alla massima deviazione ammissibile della polarizzazione, $u_E = b_E / \sqrt{3}$ (distribuzione rettangolare), dove b_E è la massima deviazione ammissibile della polarizzazione come specificato nella ISO 6507-2, e il risultato della la misurazione è calcolata secondo la formula seguente.

$$X = x \pm U_{M2}$$

1.1.1. Riferimenti Documenti

L'applicazione di queste misure di incertezza richiede l'utilizzo delle norme di riferimento. In caso di riferimenti datati, si applica l'ultima edizione del documento/norma.

UNI EN ISO/IEC 17025	Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura
UNI EN ISO/TR 14253-1	Specifiche geometriche del prodotto (GPS) - Ispezione mediante misurazione di pezzi e apparecchiature di misurazione <i>Parte 1: Norme decisionali per la verifica della conformità o non conformità alle specifiche</i>
UNI EN ISO/TR 14253-2	Specifiche geometriche del prodotto (GPS) - Ispezione mediante misurazione di pezzi e apparecchiature di misurazione <i>Parte 2: Guida per la stima dell'incertezza nella misurazione GPS, nella calibrazione delle apparecchiature di misurazione e nella verifica del prodotto</i>
UNI EN ISO/TR 14253-3	Specifiche geometriche del prodotto (GPS) - Ispezione mediante misurazione di pezzi e apparecchiature di misurazione <i>Parte 3: Linee guida per il raggiungimento di accordi sulle dichiarazioni di incertezza di misura</i>
UNI EN ISO/TR 14253-4	Specifiche geometriche del prodotto (GPS) - Ispezione mediante misurazione di pezzi e apparecchiature di misurazione <i>Parte 4: Contesto sui limiti di funzionalità e specifiche limitate nelle regole decisionali</i>
UNI EN ISO/TR 14253-5	Specifiche geometriche del prodotto (GPS) - Ispezione mediante misurazione di pezzi e apparecchiature di misurazione <i>Parte 5: Incertezza nei test di verifica degli strumenti di misura indicativi</i>
UNI EN ISO/TR 14253-6	Specifiche geometriche del prodotto (GPS) - Ispezione mediante misurazione di pezzi e apparecchiature di misurazione <i>Parte 6: Regole decisionali generalizzate per l'accettazione e il rifiuto di strumenti e pezzi</i>
EN ISO / IEC 98-3 / Suppl. 1	Incertezza di misura <i>Parte 3: Guide all'espressione dell'incertezza nella misurazione (GUM:1995)</i> <i>Supplemento 1: Propagazione delle distribuzioni utilizzando un metodo Monte Carlo</i>
PD IEC GUIDA 115:2021	Applicazione dell'incertezza di misura alle attività di valutazione della conformità nel settore elettrotecnico
SMT4-CT97-2165	Manuale di codici di condotta per la determinazione delle incertezze nelle prove meccaniche sui materiali metallici La determinazione delle incertezze nei test di impatto Charpy UNCERT COP 06: 2000
UNI EN 10045-1	Materiali metallici - Prova d'urto Charpy - Parte 1: Metodo di prova
UNI EN 10045-2	Materiali metallici - Prova d'urto Charpy - Parte 2: Verifica della macchina di prova
SMT4-CT97-2165	Manuale di codici di condotta per la determinazione delle incertezze nelle prove meccaniche sui materiali metallici La determinazione delle incertezze nella misurazione della crescita delle cricche da fatica UNCERT COP 05: 2000
ASTM E647	Metodo standard per la misurazione dei tassi di crescita delle cricche da fatica
ASTM E740	Componenti strutturali - Resistenza residua
SMT4-CT97-2165	Manuale di codici di condotta per la determinazione delle incertezze nelle prove meccaniche sui materiali metallici

	La stima delle incertezze nelle misure di durezza UNCERT COP 14: 2000
UNI EN ISO 6506/1	Materiali metallici - Prova di durezza Brinell - Parte 1: Metodo di prova
UNI EN ISO 6506/2	Materiali metallici - Prova di durezza Brinell - Parte 2: Verifica e taratura delle macchine di prova
UNI EN ISO 6506/3	Materiali metallici - Prova di durezza Brinell - Parte 3: Taratura dei blocchi di riferimento
UNI EN ISO 6507/1	Materiali metallici - Prova di durezza Vickers - Parte 1: Metodo di prova
UNI EN ISO 6507/2	Materiali metallici - Prova di durezza Vickers - Parte 2: Verifica e taratura delle macchine di prova
UNI EN ISO 6507/3	Materiali metallici - Prova di durezza Vickers - Parte 3: Taratura dei blocchetti di riferimento
UNI EN ISO 6508/1	Materiali metallici - Prova di durezza Rockwell - Parte 1: Metodo di prova
UNI EN ISO 6508/2	Materiali metallici - Prova di durezza Rockwell - Parte 2: Verifica e calibrazione di macchine di prova e penetratori
UNI EN ISO 6508/3	Materiali metallici - Test di durezza Rockwell - Parte 3: Taratura dei blocchi di riferimento
ASTM E 10-96	Metodo di prova standard per la durezza Brinell
ASTM E 18-97a	Metodi di prova standard per la durezza Rockwell dei materiali metallici
ASTM A 370-97a	Metodi di prova standard e definizioni per prove meccaniche di prodotti in acciaio
È 14874	Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura
EN 10002-Parte 1	prova di tensione – metodo di prova a temperatura ambiente
ASTM E8M	Metodi di prova standard per prove di trazione su materiali metallici (metrico)
ISO 5725	Accuratezza (esattezza e precisione) dei metodi e dei risultati di misurazione
ISO/CEI 98-3	Incerteza di misura – Parte 3: Guida all'espressione dell'incerteza di misura
PD IEC GUIDA 115:2021	Applicazione dell'incerteza di misura alle attività di valutazione della conformità nel settore elettrotecnico
ISO/TS 21748	Linee guida per l'uso della ripetibilità, riproducibilità e accuratezza stimate nella stima dell'incerteza di misura
ISO/TC 69	Applicazione dei metodi statistici, SC 6, Metodi di misurazione e risultati
ISO/TS 19036	Microbiologia degli alimenti e dei mangimi per animali – Linee guida per la stima dell'incerteza di misura per le determinazioni quantitative



3.2.2. Bibliografia

1. GM Tewari, (2016), Measurement Uncertainty, International workshop & training, program on good, food laboratory practices, 15-19 November 2016, Export Inspection Agency, Mumbai;
2. Stephanie Bell, (2001), A Beginner's Guides to Uncertainty of Measurement, Measurement Good Practice Guide No. 11 (Issue 2), Center for Basic, Thermal and Length Metrology, National Physical Laboratory, Issue 2 con emendamenti marzo 2001;
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Measurement_uncertainty;
4. Manuale di codici di condotta per la determinazione delle incertezze nelle prove meccaniche su materiali metallici. Progetto UNCERT, Contratto UE SMT4-CT97-2165, Programma di misurazione e verifica degli standard, ISBN 0-946754-41-1, Numero 1, settembre 2000;

5. Manuale dei codici di condotta per la determinazione delle incertezze nelle prove meccaniche sui materiali metallici, la determinazione delle incertezze nelle prove d'urto Charpy, codice di condotta n. 06;
6. Manuale dei codici di pratica per la determinazione delle incertezze nelle prove meccaniche sui materiali metallici, la determinazione delle incertezze nella misurazione della crescita delle cricche da fatica, codice di pratica n. 05;
7. Manuale dei codici di pratica per la determinazione delle incertezze nelle prove meccaniche sui materiali metallici, la stima delle incertezze nelle misure di durezza, codice di pratica n. 14;
8. S. Tarafder, KK Gupta, (2004), Estimation of Uncertainty in Mechanical Testing , Paper pubblicato in Study Material of Refresher Course on ISO/IEC 17025 Standards , Organizzato da NABL e CGCRI, Calcutta 27-28 agosto 2004;
9. Incertezza per materiali da costruzione e laboratori di prove geotecniche, P103d – Allegato: Politica sulla misurazione della stima; L'Associazione Americana per l'Accreditamento dei Laboratori;
10. Applicazione dell'incertezza di misura alle attività di valutazione della conformità nel settore elettrotecnico; PD IEC GUIDA 115:2021;
11. Una guida sull'incertezza di misura nell'analisi chimica e microbiologica; Guida tecnica 2, Il programma di accreditamento SAC è gestito da SPRING Singapore;
12. ISO 14253-1, Specifiche geometriche del prodotto (GPS) - Ispezione mediante misurazione di pezzi e apparecchiature di misurazione - Parte 1: Regole decisionali per la verifica della conformità o non conformità alle specifiche;
13. ISO 14253-2, Specifiche geometriche del prodotto (GPS) - Ispezione mediante misurazione di pezzi in lavorazione e apparecchiature di misurazione - Parte 2: Guida per la stima dell'incertezza nella misurazione GPS, nella calibrazione delle apparecchiature di misurazione e nella verifica del prodotto;
14. ISO 14253-3, Specifiche geometriche del prodotto (GPS) - Ispezione mediante misurazione di pezzi e apparecchiature di misurazione - Parte 3: Linee guida per il raggiungimento di accordi sulle dichiarazioni di incertezza di misura;
15. ISO 14253-4, Specifiche geometriche del prodotto (GPS) - Ispezione mediante misurazione di pezzi e apparecchiature di misurazione - Parte 4: Contesto sui limiti funzionali e specifiche limitate nelle regole decisionali
16. ISO 14253-5, Specifiche geometriche del prodotto (GPS) - Ispezione mediante misurazione di pezzi in lavorazione e apparecchiature di misurazione - Parte 5: Incertezza nei test di verifica degli strumenti di misurazione indicativi;
17. ISO 14253-6, Specifiche geometriche del prodotto (GPS) - Ispezione mediante misurazione di pezzi e apparecchiature di misurazione - Parte 6: Regole decisionali generalizzate per l'accettazione e il rifiuto di strumenti e pezzi;
18. GUIDA ISO/IEC 98-3/Suppl.1, Incertezza di misura - Parte 3: Guida all'espressione dell'incertezza di misura, Supplemento 1: Propagazione di distribuzioni utilizzando un metodo Monte Carlo.

3.3. Esercizi per la classe

Sulla base della norma EN ISO/CEI 17025/2017, tutti i laboratori di prova devono disporre e applicare una procedura per la stima dell'incertezza. La valutazione dell'incertezza e la dichiarazione del suo valore nel rapporto di analisi è necessaria quando è probabile che l'incertezza influisca negativamente sulla conformità a una specifica.

Nei prossimi due esercizi potrai capirne di più avendo a disposizione due esempi operativi relativi alla misura dell'incertezza nel caso di prove di trazione e tenacità.

3.3.1. Esercizio 1 – Calcolo dell'incertezza di misura nelle prove di durezza

Values measured on master sample HV10

Measurement 1	188
Measurement 2	188
Measurement 3	190
Measurement 4	193
Measurement 5	192

u_{e2r} – taken from ISO 6507-2 (table 5)

$$u_{e2r} = 0.0288$$

X_{CRM} – average hardness value per standard (from the calibration certificate)

$$X_{CRM} = 192$$

u_e – incertitudine standard conform abaterii maxime admise (%)

$$u_e = 1.97485714 \%$$

u_{CRM} – calibration uncertainty (from calibration certificate)

$$u_{CRM} = 1 \%$$

u_H – uncertainty of the hardness equipment (from the calibration certificate)

$$u_H = 0.5 \%$$

$$x = 190.2$$

S_x	2.28035085	2.280351
	0.25	5.2
	4.84	
	4.84	
	0.04	
	7.84	
	3.24	

u_x – uncertainty of easurement marks

$$t = 1,14 \quad pt \quad n = 5 \quad (n - \text{number of measurements}) \quad n = 5$$

$$t = 1.14$$

$$u_x = 1.162576$$

$$H = 190.2$$

$$d = 0.221 \text{ mm}$$

$$\delta m = 0.0001 \text{ mm}$$

u_{mas} – standard uncertainty

$$u_{mas} = 0.049689$$

u_{corr} – revised and extnded uncertainty measurement

K – coverage factor (k=2)

$$k = 2$$

$$u_{corr} = 5.100633 \text{ HV}$$

$$\text{unertainty } c = 2.681721 \%$$

3.3.2. Esercizio 2 – Calcolo dell'incertezza di misura nel test Charpy



Breaking energy					
Size	Standard uncertainty	Distribution law	Sensitivity coefficient	Partial uncertainty	Obs.
a [mm]	0.1	rectangular	1	0.1	electronic comparator
b [mm]	0.1	rectangular	1	0.1	micrometer
h [mm]	0.1	rectangular	1	0.1	micrometer
r [mm]	1	rectangular	1	1	microscope
l [mm]	1	rectangular	1	1	subler
KV, KU [J]	0.5	rectangular	1	0.5	pendulum hammer
KV, KU [J] mas	3.38	normal	1	3.38	Measurement
Compound uncertainty				3.70	
Extended Ue uncertainty with a 95% probability				7.4	%

type B

type A

x	KV
x1	70
x2	78
x3	79
x4	73
x5	76
x6	70
x7	78
x8	72
x9	71
x10	71
x11	77
x12	75
Number of determinations	12
Average	74.16667
Mean squared deviation	3.379977
Um=S/sqrt(n)	0.975715
Um with 95% probability	2.51
Um with 95% probability [%]	3.38

x	Cr	EL
x1	28	6.86
x2	27	6.54
x3	27	6.54
x4	28	6.75
x5	28	6.6
x6	27	7.2
Number of determinations	6	6
Average	27.5	6.748333
Mean squared deviation	0.547723	0.255062
Um=S/sqrt(n)	0.223607	0.104129
Um with 95% probability	0.57	0.27
Um with 95% probability [%]	2.07	4.00

raport 40 RAAN / 2009

III. Valutazione (database di domande e risposte e 5 compiti di esame pratico) - accesso limitato agli ANB

Lo schema di valutazione comprende un database di 78 domande e risposte in linea con le linee guida di formazione EDTT (IO2) e un esame pratico con cinque domande, una per ciascun modulo. Queste risorse sono disponibili solo per gli ANB (membri EWF). Il file excel con tutte le domande e risposte sulla valutazione è disponibile per il download sul sito web del progetto (<https://project-trust.eu/intellectual-output3.html>).

Database di domande e risposte

Corso Pilota Tecnico Europeo per i Controlli Distruttivi

Capitolo 1

Domanda n.º	1 - Lo stress meccanico può essere definito come:	Risposta corretta
risposta 1	Una forza per unità di area	X
Risposta 2	Una forza per unità di lunghezza	
Risposta 3	La forza applicata a un provino in una prova di trazione	
Risposta 4	Nessuna delle precedenti	

Domanda n.º	2 - La tensione di snervamento del materiale segna il passaggio di:	Risposta corretta
risposta 1	Comportamento da duttile a fragile.	
Risposta 2	Comportamento da più duro a più morbido.	
Risposta 3	Comportamento da elastico a plastico.	X
Risposta 4	Comportamento da duro a fragile	

Domanda n.º	3 - Con una prova di impatto possiamo determinare:	Risposta corretta
risposta 1	La durezza del materiale	
Risposta 2	La tensione di snervamento del materiale	
Risposta 3	La resistenza alla frattura del materiale	
Risposta 4	La durezza del materiale	X

Domanda n.º	4 - La durezza del materiale può essere definita come:	Risposta corretta
risposta 1	Resistenza alla deformazione plastica	X
Risposta 2	Resistenza alla deformazione elastica	
Risposta 3	Resistenza alla frattura	
Risposta 4	Resistenza agli urti	

Domanda n.º	5 - Tutti i tipi di macchine a trazione comprendono normalmente:	Risposta corretta
risposta 1	Un telaio di carico, una cella di carico e un trasduttore di spostamento	X
Risposta 2	Un telaio di carico, una cella di carico e un estensimetro	
Risposta 3	Un telaio di carico, una cella di carico e un motore elettrico	
Risposta 4	Un telaio di carico, una cella di carico e un attuatore idraulico	

capitolo 2

Domanda n.º	6 - Qual è lo scopo dell'utilizzo dei test distruttivi?	Risposta corretta
-------------	---	-------------------

risposta 1	Collaudo dei consumabili di saldatura e loro riconoscimento.	X
Risposta 2	Valutazione visiva dei campioni.	
Risposta 3	Per determinare la resistenza di un circuito.	
Risposta 4	Per la valutazione delle radiografie.	

Domanda n.º	7 - Dove sono specificati i requisiti per le prove distruttive?	Risposta corretta
risposta 1	Negli standard nazionali.	
Risposta 2	Nei requisiti delle società di classificazione.	
Risposta 3	Nei requisiti degli organismi di certificazione.	
Risposta 4	Tutte le risposte sono corrette	X

Domanda n.º	8 - Quali prove sono prove distruttive di base?	Risposta corretta
risposta 1	Creep test, Esame visivo, Esame radiografico, Test di fatica.	
Risposta 2	Prova di trazione, prova di piegatura, misure di durezza, prova di impatto.	X
Risposta 3	Prove non distruttive.	
Risposta 4	Misurazioni granulometriche, Saldatura, Test bulloneria.	

Domanda n.º	9 - Quale delle seguenti norme descrive la procedura per la qualificazione della tecnologia di saldatura?	Risposta corretta
risposta 1	ISO 15999-2	
Risposta 2	ISO 15614-1	X
Risposta 3	ISO 992-3	
Risposta 4	ISO 28567-1	

Domanda n.º	10 - Quanti provini devono essere testati per un giunto di testa di un tubo secondo i requisiti della norma 15614-1 nella prova di trazione (livello 2)?	Risposta corretta
risposta 1	4	
Risposta 2	1	
Risposta 3	2	X
Risposta 4	8	

Domanda n.º	11 - Quanti provini devono essere testati per un giunto di testa di un tubo secondo i requisiti della norma 15614-1 nella prova di piegatura (livello 2)?	Risposta corretta
risposta 1	4	X
Risposta 2	2	
Risposta 3	5	
Risposta 4	1	

Domanda n.º	12 - Quanti provini devono essere testati per una saldatura d'angolo secondo i requisiti della norma 15614-1 nell'esame macroscopico (livello 2)?	Risposta corretta
risposta 1	1	
Risposta 2	3	
Risposta 3	4	
Risposta 4	2	X

Domanda n.º	13 - Quanti set devono essere testati per una saldatura di testa di una piastra in conformità con i requisiti della norma 15614-1 nella prova di impatto (livello 2)?	Risposta corretta
risposta 1	1 set	
Risposta 2	3 set	
Risposta 3	2 set	X
Risposta 4	2 set	

Domanda n.º	14 - Quale delle seguenti norme descrive la procedura per la prova di trazione a temperatura ambiente?	Risposta corretta
risposta 1	ISO 6892-1	X
Risposta 2	ISO 15614-1	
Risposta 3	ISO 6687-2	
Risposta 4	ISO 6892-2	

Domanda n.º	15 - Quali parametri possono essere determinati con la prova di trazione	Risposta corretta
risposta 1	Carico di rottura, carico di snervamento e duttilità del materiale	X
Risposta 2	Resistenza all'urto, Durezza Vickers, Granulometria	
Risposta 3	Totale impatto plastico, allungamento della fessura, resistenza alla trazione	
Risposta 4	Durezza Brinell, carico di snervamento, temperatura di riscaldamento	

Domanda n.º	16 - La sollecitazione alla quale l'estensione plastica è pari a una determinata percentuale della lunghezza utile dell'estensimetro è:	Risposta corretta
risposta 1	Modulo di elasticità	
Risposta 2	Carico di snervamento superiore, ReH	
Risposta 3	Allungamento, A	
Risposta 4	Forza di prova, estensione in plastica, Rp	X

Domanda n.º	17 - A quale temperatura, secondo la ISO 6892-1, devono essere eseguite le prove di trazione effettuate in condizioni controllate?	Risposta corretta
risposta 1	non è specificato	
Risposta 2	23 °C ± 5 °C	X
Risposta 3	30 °C ± 10 °C	
Risposta 4	da 10°C a 35°C	

Domanda n.º	18 - Qual è il valore più comune del coefficiente di proporzionalità, k?	Risposta corretta
risposta 1	28.62	



Risposta 2	4,98	
Risposta 3	5.63	X
Risposta 4	10.99	

Domanda n.º	19 - Quando il sistema di misurazione della forza deve essere azzerato?	Risposta corretta
risposta 1	non è specificato	
Risposta 2	dopo che il pezzo di prova è stato afferrato ad entrambe le estremità.	
Risposta 3	alla fine della prova	
Risposta 4	dopo la prova il treno di carico è stato assemblato, ma prima che il pezzo di prova sia effettivamente afferrato ad entrambe le estremità.	X

Domanda n.º	20 - I provini hanno un rapporto definito tra la lunghezza utile iniziale L_0 e l'area della sezione trasversale iniziale S_0. Si può scrivere con la formula:	Risposta corretta
risposta 1	$L_0 = k \cdot \sqrt{S_0}$	X
Risposta 2	$L_0 = S_0$	
Risposta 3	$L_0 = 23,6 \cdot \sqrt{S_0}$	
Risposta 4	$S_0 = L_0/2$	

Domanda n.º	21 - Quale metodo di test della velocità si basa sulla velocità di deformazione?	Risposta corretta
risposta 1	Metodo C	
Risposta 2	Metodo B	
Risposta 3	Metodo A	X
Risposta 4	Metodo D	

Domanda n.º	22 - Qual è la formula dell'allungamento percentuale dopo la frattura?	Risposta corretta
risposta 1	$L_0 = k \cdot \sqrt{S_0}$	
Risposta 2	$LA = (L_u - L_0) / L_0 \cdot 100\%$	X
Risposta 3	$LA = FA / S_0$	
Risposta 4	$A = L_0/2$	

Domanda n.º	23 - Qual è la formula per la riduzione percentuale dell'area?	Risposta corretta
risposta 1	$Z = Z_0 - Z_u$	
Risposta 2	$Z = L_0/2$	
Risposta 3	$Z = (Z_0 - Z_u) / Z_0 \cdot 100\%$	X
Risposta 4	$Z = (L_0 - L_u) / Z_0 \cdot 100\%$	

Domanda n.º	24 - Cos'è il parametro S_0	Risposta corretta
risposta 1	tasso di stress	
Risposta 2	allungamento del campione	
Risposta 3	sezione trasversale dopo la rottura	



Risposta 4	area della sezione trasversale originale della lunghezza parallela	X
-------------------	--	---

Domanda n.º	25 - Cos'è il parametro L0	Risposta corretta
risposta 1	lunghezza del calibro originale	X
Risposta 2	tasso di stress	
Risposta 3	sezione trasversale del campione	
Risposta 4	durezza	

Domanda n.º	26 - Cos'è il parametro Agt	Risposta corretta
risposta 1	estensione totale al punto di rottura	
Risposta 2	percentuale di estensione totale alla massima forza	X
Risposta 3	estensione allo stress da rendimento	
Risposta 4	percentuale di stress	

Domanda n.º	27 - Come si contrassegna l'allungamento percentuale dopo la frattura?	Risposta corretta
risposta 1	UN	X
Risposta 2	z	
Risposta 3	Agt	
Risposta 4	A	

Domanda n.º	28 - Come contrassegniamo la resistenza della prova, l'estensione di plastica?	Risposta corretta
risposta 1	Rt	
Risposta 2	Rif	
Risposta 3	Rp	X
Risposta 4	Rz	

Domanda n.º	29 - Come si contrassegna il valore massimo della sollecitazione prima della prima diminuzione della forza	Risposta corretta
risposta 1	ReH	X
Risposta 2	Rp	
Risposta 3	Rt	
Risposta 4	ReL	

Domanda n.º	30 - Cos'è il carico di snervamento superiore ReH	Risposta corretta
risposta 1	Valore minimo della sollecitazione dopo la prima diminuzione della forza	
Risposta 2	Valore massimo della sollecitazione prima della prima diminuzione della forza	X
Risposta 3	Valore massimo della forza sul diagramma di trazione	
Risposta 4	Estensione allo stress da rendimento	

Domanda n.º	31 - Quale delle seguenti norme descrive la procedura per la prova di trazione trasversale dei giunti saldati?	Risposta corretta
risposta 1	ISO 6892-1	
Risposta 2	ISO 15614-1	



Risposta 3	ISO 4136	X
Risposta 4	ISO7015	

Domanda n.º	32 - Secondo le norme ISO 4136 devono essere prelevati i provini	Risposta corretta
risposta 1	trasversalmente rispetto al giunto saldato	X
Risposta 2	longitudinalmente dal giunto saldato	
Risposta 3	trasversalmente rispetto al materiale di base	
Risposta 4	non è scritto	

Domanda n.º	33 - Quale delle seguenti norme descrive la procedura per la prova di trazione su giunti cruciformi e lappati?	Risposta corretta
risposta 1	ISO 99188	
Risposta 2	ISO 9018	X
Risposta 3	ISO 4136	
Risposta 4	ISO 6892	

Domanda n.º	34 - Quale delle seguenti norme descrive la procedura per la prova di piegatura su materiali metallici?	Risposta corretta
risposta 1	ISO7015	
Risposta 2	ISO 9018	
Risposta 3	ISO 15614	
Risposta 4	ISO7438	X

Domanda n.º	35 - Quale metodo di piegatura non è descritto nella ISO 7438?	Risposta corretta
risposta 1	Piegatura con un rullo	X
Risposta 2	Dispositivo di piegatura con due supporti e formatore	
Risposta 3	Dispositivo di piegatura con un blocco a V e un formatore	
Risposta 4	Dispositivo di piegatura con un morsetto	

Domanda n.º	36 - Quale delle seguenti norme descrive la procedura per la prova di flessione delle saldature?	Risposta corretta
risposta 1	ISO 7123	
Risposta 2	ISO 5134	
Risposta 3	ISO 5173	X
Risposta 4	ISO 6520	

Domanda n.º	37 - Se non diversamente specificato, la prova deve essere eseguita a	Risposta corretta
risposta 1	una temperatura ambiente di $(21 \pm 5) ^\circ\text{C}$	
Risposta 2	una temperatura ambiente di $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$	X
Risposta 3	una temperatura ambiente di $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$	
Risposta 4	alla temperatura specificata dalla specifica del materiale	

Domanda n.º	38 - Velocità di prova durante una prova di piega secondo ISO 5173	Risposta corretta
risposta 1	Il metodo di prova standard ISO 5173 non specifica alcuna velocità di prova per quanto riguarda la prova con un formatore o con un rullo; è richiesta solo la raccomandazione di caricare il provino in modo graduale e continuo.	X
Risposta 2	Per l'esecuzione della prova deve essere adottata una velocità massima di prova di 10 mm/min	
Risposta 3	Nessun requisito è specificato nella ISO 5173, quindi un provino può essere testato con diverse velocità di prova; l'unico scopo del test è quello di non ottenere il cedimento del provino	
Risposta 4	Nessuna velocità di prova è specificata nella ISO 5173, è solo specificata che la velocità di prova deve essere la più bassa possibile e il pezzo di prova può essere testato in fasi consecutive per essere sicuri di evitare guasti	

Domanda n.º	39 - La lunghezza del calibro per la misurazione dell'allungamento sulle saldature per fusione durante la prova di piegatura deve essere	Risposta corretta
risposta 1	l'allungamento viene misurato solo sul provino di trazione, sulla prova di flessione non viene misurato	
Risposta 2	uguale al doppio della larghezza massima della saldatura dopo la lavorazione o alla larghezza massima della saldatura dopo la lavorazione o uguale alla larghezza della saldatura meno lo spessore del pezzo di prova	
Risposta 3	pari alla larghezza massima della saldatura dopo la lavorazione	
Risposta 4	uguale alla larghezza massima della saldatura dopo la lavorazione o uguale al doppio della larghezza massima della saldatura dopo la lavorazione o alla larghezza massima della saldatura dopo la lavorazione o uguale alla larghezza della saldatura meno lo spessore del pezzo di prova	X

Domanda n.º	40 - Si richiede un diametro del formatore o del rullo interno pari a 4 volte lo spessore del provino quando	Risposta corretta
risposta 1	l'allungamento del metallo madre è inferiore al 20%	
Risposta 2	l'allungamento del metallo madre è maggiore o uguale al 20%	X
Risposta 3	l'allungamento del metallo madre è pari al 20%	
Risposta 4	l'allungamento del metallo madre è maggiore o uguale al 15%	

Domanda n.º	41 - sulla maschera di tipo U, quando lo spessore del provino è di 10 mm, il raggio del pistone è di 20 mm e il raggio della matrice è di 32 mm	Risposta corretta
risposta 1	falso, il raggio della matrice deve essere uguale al raggio del pistone più lo spessore del provino più 5 mm	
Risposta 2	VERO	X
Risposta 3	vero, ma solo sui metalli di origine	
Risposta 4	falso, il raggio del pistone deve essere 1,5 volte lo spessore del provino e quindi pari a 25 mm	

Domanda n.º	42 - Ciascun provino di curvatura deve essere contrassegnato per identificare la sua posizione esatta nel manufatto o nel giunto da cui è stato rimosso.	Risposta corretta
risposta 1	VERO	
Risposta 2	Vero e ogni provino deve essere contrassegnato per identificare la sua posizione esatta nel provino da cui è stato rimosso	X
Risposta 3	Falso	
Risposta 4	Vero e ogni provino deve essere contrassegnato per identificare la sua posizione esatta nel provino da cui è stato rimosso come specificato anche in ASTM E340; in caso contrario il test non può essere eseguito	

Domanda n.º	43 - Quando le prove vengono eseguite a temperatura diversa da quella ambiente, per quanto tempo i provini devono essere mantenuti alla temperatura di prova	Risposta corretta
risposta 1	dipende dallo spessore del provino	
Risposta 2	10 minuti	
Risposta 3	5 minuti	X
Risposta 4	20 minuti	

Domanda n.º	44 - Sul provino 10x10x55 mm la larghezza ha la tolleranza massima di	Risposta corretta
risposta 1	0,10 mm	X
Risposta 2	0,11 mm	
Risposta 3	0,12 mm	
Risposta 4	0,13 mm	

Domanda n.º	45 - Sulle provette Charpy con intaglio a V e ad U, la lunghezza del legamento è rispettivamente	Risposta corretta
risposta 1	7,5 mm e 5 mm	
Risposta 2	5 mm e 8 mm	
Risposta 3	8 mm e 6 mm	
Risposta 4	8 mm e 5 mm	X

Domanda n.º	46 - Quando il provino viene rimosso dal mezzo riscaldante o refrigerante, se la differenza tra la temperatura ambiente o dello strumento e la temperatura del provino è inferiore a 25 °C, quanto tempo può trascorrere prima che venga colpito dal percussore?	Risposta corretta
risposta 1	10 secondi	
Risposta 2	1 secondi	
Risposta 3	5 secondi	X
Risposta 4	15 secondi	

Domanda n.º	47 - Se si rompe un provino 5x10x55 mm e si registrano 20 J di energia assorbita, l'espressione di tale risultato in J/cm2 corrisponde a	Risposta corretta
risposta 1	40	
Risposta 2	50	X
Risposta 3	0.4	
Risposta 4	0,5	

Domanda n.º	48 - Il valore di dilatazione laterale, è pari alla somma del maggiore dei due valori di dilatazione ottenuti per ciascun lato, misurando separatamente le due metà	Risposta corretta
risposta 1	Vero, ma solo sul 10x10x55 mm	
Risposta 2	Vero, ma solo sugli esemplari con intaglio a U	
Risposta 3	VERO	X
Risposta 4	Falso, corrisponde alla media di tutti i valori	

Domanda n.º	49 - La porzione di clivaggio della frattura affiorata dal provino rotto corrisponde alla porzione "lucida" della regione di frattura piana	Risposta corretta
risposta 1	Falso, corrisponde all'aspetto setoso della superficie di frattura	
Risposta 2	È vero, il taglio e l'area fragile sono gli stessi	
Risposta 3	Falso, l'area lucida è l'area di taglio	
Risposta 4	È vero, l'area fragile è tipicamente lucida e cristallina	X

Domanda n.º	50 - Per misurare la percentuale dell'area di taglio	Risposta corretta
risposta 1	può essere utilizzata una tecnica di analisi delle immagini	
Risposta 2	ingrandire la superficie della frattura e confrontarla con un grafico di sovrapposizione ricalibrato può essere una soluzione	
Risposta 3	possono essere utilizzate entrambe le soluzioni citate nelle risposte precedenti	X
Risposta 4	l'area di taglio è sempre espressa in millimetri invece che in percentuale	

Domanda n.º	51 - Il riferimento al metodo di prova standard (ISO 148-1)	Risposta corretta
risposta 1	è obbligatorio sul rapporto di prova	X
Risposta 2	è facoltativo nel rapporto di prova	
Risposta 3	è obbligatorio solo se la prova viene eseguita a temperatura di prova diversa da quella ambiente	
Risposta 4	è obbligatorio solo quando i provini con intaglio a V e ad U sono stati testati alla stessa temperatura	

Domanda n.º	52 - La temperatura di transizione ed i criteri utilizzati per la sua determinazione è un'informazione obbligatoria da inserire nel rapporto di prova	Risposta corretta
risposta 1	Falso, è facoltativo	X
Risposta 2	Falso, è consigliato solo quando si eseguono prove a più di 3 diverse temperature di prova	
Risposta 3	VERO	
Risposta 4	Vero, ma solo per provette con intaglio a V	

Domanda n.º	53 - La prova di frattura può essere eseguita sia su giunti saldati che su materiali base	Risposta corretta
risposta 1	Falso, solo sulle saldature di testa	
Risposta 2	Falso, solo sulle saldature	X
Risposta 3	Falso, anche sui materiali compositi	
Risposta 4	Vero, ma solo su materiali di base con spessore inferiore a 20 mm	

Domanda n.º	54 - La profondità delle tacche laterali sarà	Risposta corretta
risposta 1	Maggiore o uguale al 70% della larghezza originale del provino o uguale o maggiore al 60% della lunghezza totale della saldatura nel provino se si considera la somma della profondità del lato intagliato	X
Risposta 2	Maggiore o uguale al 70% della larghezza originale del provino	
Risposta 3	Esattamente il 70% della larghezza originale del provino o esattamente il 60% della lunghezza totale della saldatura nel provino se si considera la somma della profondità del lato intagliato	
Risposta 4	Massimo il 70% della larghezza originale del provino o massimo il 60% della lunghezza totale della saldatura nel provino se si considera la somma della profondità del lato intagliato	

Domanda n.º	55 - Il test di durezza è la capacità di un materiale di resistere:	Risposta corretta
risposta 1	Graffiare	
Risposta 2	Indossare	
Risposta 3	Rientro	X
Risposta 4	Frattura	

Domanda n.º	56 - Le seguenti prove sono prove di durezza	Risposta corretta
risposta 1	Prova di trazione	
Risposta 2	Prova Vickers	X
Risposta 3	Prova Charpy	
Risposta 4	Test di Wohler	

Domanda n.º	57 - Quale dei seguenti test utilizza il penetratore piramidale	Risposta corretta
risposta 1	Prova Brinell	
Risposta 2	Prova Rockwell	
Risposta 3	Test di Vickers	X
Risposta 4	Prova Charpy	

Domanda n.º	58 - Il penetratore Vickers ha un angolo tra facce opposte di un diamante di	Risposta corretta
risposta 1	20°	
Risposta 2	90°	
Risposta 3	136°	X
Risposta 4	190°	

Domanda n.º	59 - Quali norme definiscono la prova di durezza Vickers?	Risposta corretta
risposta 1	ISO 6507-1	X
Risposta 2	ISO 9606-1	
Risposta 3	ISO 9001	
Risposta 4	ISO14001	

Domanda n.º	60 - Qual è il principale svantaggio del test Vickers?	Risposta corretta
risposta 1	Letture accurate	
Risposta 2	Un solo tipo di penetratore per tutti i tipi di materiali	
Risposta 3	È possibile misurare solo la durezza superiore a 450 BHN	
Risposta 4	Grandi macchine a pavimento	X

Domanda n.º	61 - Qual è la durezza media Vickers della martensite?	Risposta corretta
risposta 1	120 VHN	
Risposta 2	140 VHN	
Risposta 3	1000 VHN	X
Risposta 4	2000 VHN	

Domanda n.º	62 - Qual è il test di durezza più utilizzato	Risposta corretta
risposta 1	Charpy	
Risposta 2	Brinell	
Risposta 3	Test di Vickers	X
Risposta 4	Prova di Moh	

Domanda n.º	63 - Cosa significa HV10?	Risposta corretta
risposta 1	La lunghezza misurata delle due diagonali	X
Risposta 2	La profondità misurata delle due diagonali	
Risposta 3	La deformazione misurata del penetratore	
Risposta 4	Tutte le risposte sono corrette	

Domanda n.º	64 - La distanza minima da mantenere tra le rientranze per evitare l'interazione tra la zona incrudita è	Risposta corretta
risposta 1	25	
Risposta 2	35	X
Risposta 3	95	
Risposta 4	195	

capitolo 3

Domanda n.º	65 - In metrologia, l'incertezza di misura è:	Risposta corretta
risposta 1	l'espressione della dispersione statistica dei valori attribuiti ad una qualità misurata	X
Risposta 2	l'espressione della dispersione statistica dei valori attribuiti ad una grandezza misurata	
Risposta 3	l'espressione dell'estrema dispersione dei valori attribuiti ad un'apparecchiatura	
Risposta 4	Tutte le risposte sono corrette	

Domanda n.º	66 - L'incertezza di misura è:	Risposta corretta
risposta 1	un parametro associato al grado di qualificazione dell'operatore	
Risposta 2	un valore precedentemente stabilito, associato al risultato di una misurazione	
Risposta 3	un parametro associato al tipo di materiale	
Risposta 4	un parametro associato al risultato di una misurazione	X

Domanda n.º	67 - L'incertezza di misura è:	Risposta corretta
risposta 1	indipendentemente dal tipo di fonti	X
Risposta 2	dipendente dal tipo di fonti	
Risposta 3	un parametro che non può essere stabilito	
Risposta 4	Tutte le risposte sono corrette	

Domanda n.º	68 - L'incertezza tipo:	Risposta corretta
risposta 1	è l'incertezza del risultato di una misurazione espressa come errore	
Risposta 2	è l'incertezza del risultato di una misurazione espressa come deviazione standard	X
Risposta 3	è l'errore del risultato di una misurazione espresso come deviazione estrema	
Risposta 4	Tutte le risposte sono corrette	

Domanda n.º	69 - Un'incertezza tipo è solitamente indicata dal simbolo:	Risposta corretta
risposta 1	UN	
Risposta 2	e	
Risposta 3	P	
Risposta 4	tu	X

Domanda n.º	70 - Le incertezze di misura possono derivare da:	Risposta corretta
risposta 1	lo strumento di misura	
Risposta 2	l'oggetto misurato	
Risposta 3	l'ambiente e l'operatore	
Risposta 4	Tutte le risposte sono corrette	X

Domanda n.º	71 - La determinazione dell'incertezza di misura può essere effettuata per:	Risposta corretta
risposta 1	test di impatto	
Risposta 2	misure di durezza	
Risposta 3	prova di trazione	
Risposta 4	Tutte le risposte sono corrette	X

Domanda n.º	72 - La conoscenza di una grandezza, dedotta da misure ripetute, si chiama:	Risposta corretta
risposta 1	Stima di tipo A	X
Risposta 2	Stima di tipo B	
Risposta 3	Stima di tipo X	
Risposta 4	Stima di tipo W	

Domanda n.º	73 - L'analisi dell'incertezza di misura è utile per:	Risposta corretta
risposta 1	identificare fonti minori di incoerenze dei risultati misurati	
Risposta 2	identificare le principali fonti di incoerenza dei risultati misurati	X
Risposta 3	identificare tutte le possibili fonti di incoerenza dei risultati misurati	
Risposta 4	Nessuna delle risposte precedenti	

Domanda n.º	74 - La precisione dei risultati della prova da una prova di trazione dipende da fattori:	Risposta corretta
risposta 1	relativo al materiale in esame	
Risposta 2	la macchina di prova	
Risposta 3	la procedura di prova e i metodi utilizzati	
Risposta 4	Tutte le risposte sono corrette	X

Domanda n.º	75 - Le prove interlaboratorio possono essere utilizzate per determinare:	Risposta corretta
risposta 1	qualsiasi incertezza dei risultati in condizioni simili a quelle utilizzate nei laboratori industriali	
Risposta 2	l'incertezza complessiva dei risultati in condizioni vicine a quelle utilizzate nei laboratori industriali	X
Risposta 3	gli errori complessivi in condizioni diverse da quelle utilizzate nei laboratori industriali	
Risposta 4	Tutte le risposte sono corrette	

Domanda n.º	76 - L'incertezza nella misurazione di una dimensione di un provino di trazione:	Risposta corretta
risposta 1	non hanno alcuna influenza sulla misurazione della resistenza alla trazione	
Risposta 2	influenzare la misurazione della resistenza alla trazione	X
Risposta 3	avere una possibile influenza sulla misurazione della resistenza alla trazione	
Risposta 4	Tutte le risposte sono corrette	

Domanda n.º	77 - Una procedura per stimare l'incertezza nell'energia del test di impatto Charpy deve seguire pochi passi. Quale dei seguenti passaggi non fa parte della procedura.	Risposta corretta
risposta 1	Individuare i parametri per i quali stimare l'incertezza	
Risposta 2	Identificare tutte le fonti di incertezza nel test	
Risposta 3	Classificazione dell'incertezza secondo il tipo A o B	
Risposta 4	Stima dell'errore standard per ogni operatore	X

Domanda n.º	78 - L'incertezza estesa è definita come:	Risposta corretta
risposta 1	il risultato di una misurazione che mostra la distribuzione dei valori estremi che è assegnata al misurando	
Risposta 2	l'intervallo della distribuzione dei valori che saranno assegnati alla misura	
Risposta 3	l'intervallo intorno al risultato di una misurazione che ci si può aspettare comprenda gran parte della distribuzione di valori che potrebbero ragionevolmente essere assegnati al misurando	X
Risposta 4	Nessuna delle risposte precedenti	

Esame Pratico

Corso Pilota Tecnico Europeo per i Controlli Distruttivi

Nome:

Cognome:

Data dell'esame:

Attività 1. Prova di trazione dei metalli

Calcolare l'allungamento percentuale dopo la rottura per i dati forniti. Lunghezza misurata iniziale L0 arrotondata per eccesso al multiplo di 5 mm più vicino.

Dati:

A=10mm; b=25 mm; Lu=110mm; K=5,65

Compito 2. Trazione Testo f Giunti saldati

Definire la posizione della frattura del campione (metallo di saldatura, linea di fusione, ZTA, materiale di base) mostrata nella foto sottostante. È un risultato positivo del test?



Attività 3. Prova di piegatura

Calcolare il diametro del gambo di flessione per un giunto saldato in acciaio S355 (A= min.18%) spessore 10 mm.

Attività 4. Test di impatto/Charpy

Calcolare la resistenza all'urto per un'area della sezione trasversale standard (10 × 10 × 55) di campioni con intaglio a V per il dato lavoro di frattura.

	Energia d'urto, J	Forza d'urto, J/cm ²
1	27	
2	54	
3	39	

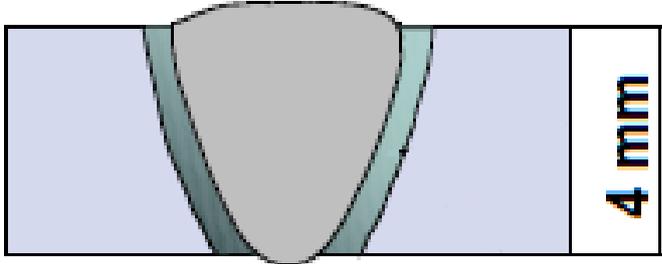


Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Compito 5. Test di durezza

Sul diagramma del giunto saldato sottostante, tracciare le linee della misurazione della durezza Vickers secondo i requisiti della norma ISO 15614-1.



IV. Linee guida per lo sviluppo dei PPT

Questa sezione lascia una serie di raccomandazioni ai formatori per lo sviluppo delle presentazioni dei contenuti tecnici per renderle più accattivanti e dinamiche.

Lo scopo di questa linea guida è fornire ai formatori un orientamento o una guida sullo sviluppo dei PPT per ogni sessione di formazione. Il modello è disponibile per il download sul sito Web del progetto (<https://project-trust.eu/intellectual-output3.html>). Di seguito sono riportate alcune linee guida che dovrebbero essere prese in considerazione quando si sviluppano le presentazioni dei contenuti (PPT):

- Le presentazioni PPTS dovrebbero esibire il logo del progetto TRUST/e il MODELLO DEL PROGETTO PPT



Figura83- Copertina di presentazione.

- Le presentazioni dovrebbero seguire la Struttura del Manuale, cioè seguendo le CU definite;

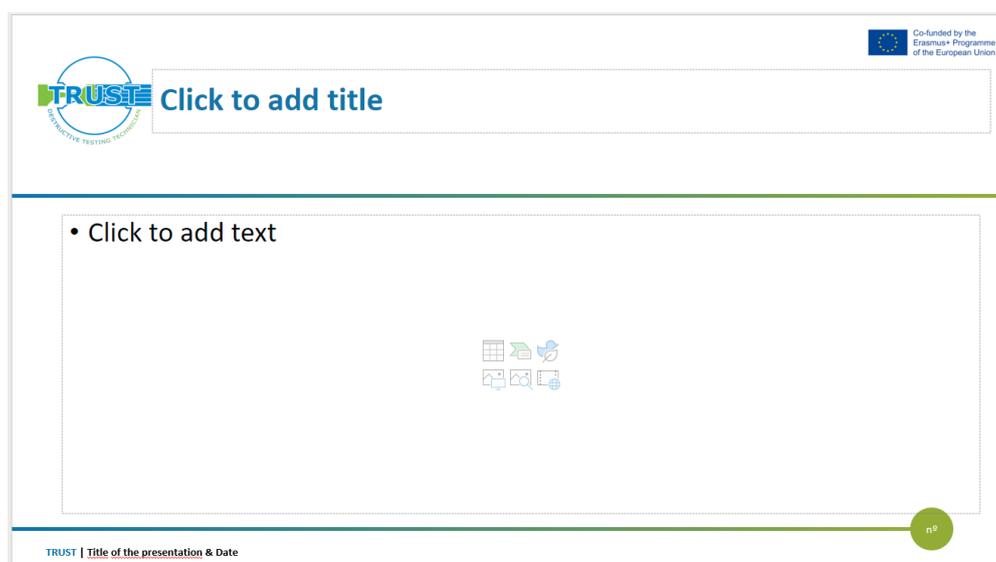


Figura84- Modello PPT per CU.

- All'inizio di ogni sessione di formazione, deve essere presentato ai tirocinanti il Piano/Agenda della sessione, definito nella "Tabella di conoscenza dettagliata" in ogni CU (documento "EDTT Profile Curricula")

CONOSCENZA DETTAGLIATA	ORE DI CONTATTO MINIME
<p style="text-align: center;">Introduzione ai test distruttivi</p> <p>Lo scopo dei DT. La divisione dei DT. Panoramica dei DT utilizzati durante le prove di materiali metallici e dei loro giunti saldati. Norme di sicurezza nei controlli distruttivi. Rischi per il personale durante i DT. I principi del funzionamento sicuro delle apparecchiature di prova nei DT. I dispositivi di protezione individuale del personale DT</p>	1+0+0
<p style="text-align: center;">Progettazione di macchinari e attrezzature per prove distruttive</p> <p>La progettazione di macchine di prova azionate elettromeccanicamente e idraulicamente. Il progetto di un banco prova di curvatura. La progettazione di macchine per prove di impatto e relativi requisiti. La progettazione di durometri fissi, vale a dire durometri manuali, semiautomatici e completamente automatici. <u>Lezioni pratiche in laboratorio</u> Dimostrazione di macchinari e attrezzature di prova utilizzati durante i DT di materiali e giunti saldati.</p>	1+0+1

Tavolo19- Tabella di conoscenza dettagliata di IO2.

- Ogni CU PPT deve dettagliare i risultati dell'apprendimento

RISULTATI DI APPRENDIMENTO	
UNITÀ DI COMPETENZA	Prove Meccaniche (Prove di Trazione, Prova di Flessione, Prova di Resilienza Charpy, Prova di Frattura, Prova Vickers)
CONOSCENZA	<p>Conoscenza fattuale e teorica dei principi e applicabilità di:</p> <ul style="list-style-type: none"> standard per diversi metodi di prove distruttive, prova di trazione di materiali metallici e diversi tipi di giunti saldati a temperatura ambiente, tipi e variazioni dei provini per prove di trazione, diagrammi di prova di trazione, prova di piegatura di materiali metallici e giunti saldati, test di resistenza all'urto di materiali metallici e giunti saldati, tipi di metodi di prova della resistenza all'urto, misure di durezza e microdurezza di materiali metallici e giunti saldati, metodi di misura della durezza e della microdurezza.
COMPETENZE	<ul style="list-style-type: none"> Ispezionare l'attrezzatura per assicurarsi che sia sicura e adatta all'uso. Identificare il campione per garantire la tracciabilità. Utilizzare apparecchiature di misurazione per determinare tutte le dimensioni essenziali del provino. Eseguire prove di trazione per determinare proprietà richieste secondo gli standard Eseguire l'esame visivo del campione dopo il test per analizzare i risultati post-test. Eseguire test di piegatura di metalli e giunti saldati per confermare le proprietà plastiche del materiale. Eseguire il test di impatto dei metalli e del giunto saldato a temperature ambiente e inferiori per valutare la resistenza all'impatto e la percentuale di frattura da taglio. Eseguire il test di frattura e preservare la superficie fratturata. Eseguire misurazioni in metalli e giunti saldati per valutare la durezza. Riportare/documentare i risultati dei test secondo lo standard applicabile.

Tavolo20- Tabella dei risultati di apprendimento di IO2.



- Il PPT dovrebbe presentare una spiegazione del processo di valutazione

- L'ultima diapositiva dovrebbe presentare il nome e il contatto del formatore

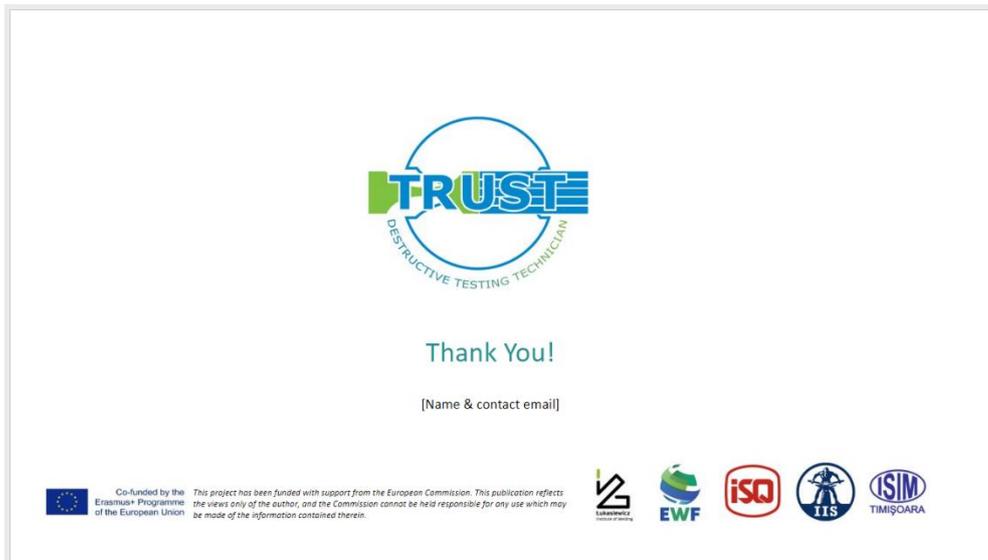


Figura85- Modello della diapositiva finale della presentazione.

V. Strumento per la misurazione dell'incertezza

Sulla base della norma EN ISO/CEI 17025/2017, tutti i laboratori di prova devono disporre e applicare una procedura per la stima dell'incertezza. La valutazione dell'incertezza e la dichiarazione del suo valore nel rapporto di analisi è necessaria quando è probabile che l'incertezza influisca negativamente sulla conformità a una specifica.

Esempi di modelli per registrare le misure dell'incertezza per diverse prove meccaniche, sono inclusi nei due file Excel allegati (relativi alla misura dell'incertezza nel caso di prove di trazione e tenacità).