

# Esercizio svolto

## Dimensionamento completo di una giunzione rivettata

Percorso in 6 fasi (A → F) • 5 modi di rottura  
Rivetti pieni AN 430 / AN 426 • Distanze geometriche  $A-B-p$

*Questo fascicoletto mostra, passo dopo passo, come applicare il percorso in 6 fasi per scegliere diametro  $d$ , passo  $p$ , distanza dal bordo  $A$ , lunghezza  $l$  e designazione AN del rivetto. Ogni passaggio è commentato e fisicamente motivato.*

Costruzioni Aeronautiche — Classe 4ACA  
Anno scolastico 2025/26

Prof. Ing. B. Raucci  
ITIS E. Majorana – Cassino (FR)

### Perché la rivettatura è la tecnica di collegamento più usata in aeronautica

Le strutture aeronautiche sono composte dall'unione di un numero molto elevato di parti: le ali, la fusoliera, gli impennaggi sono tutti sottoinsiemi formati da pannelli, centine, longheroni, correnti e rivestimenti. Questi elementi devono essere collegati tra loro in modo robusto, leggero, ripetibile e **controllabile**.

Nel campo delle costruzioni aeronautiche, le tecniche di collegamento più diffuse sono: la **rivettatura** (unione fissa, permanente), la bullonatura (amovibile), la saldatura e l'incollaggio. La rivettatura è di gran lunga la più diffusa per la struttura primaria, perché:

- consente di unire leghe di alluminio sottili senza alterarne le proprietà meccaniche (la bullonatura richiederebbe spessori maggiori per evitare il rifollamento sotto precarico<sup>a</sup>);
- garantisce un collegamento *visivamente ispezionabile*: una testa rivetto mancante o deformata è immediatamente rilevabile durante la manutenzione;
- è facilmente realizzabile in produzione di serie con macchine automatiche;
- in caso di sovraccarico consente un *cedimento progressivo*, a differenza della saldatura che può cedere in modo improvviso.

**Obiettivo di questa guida.** Fornire al lettore uno strumento operativo, passo dopo passo, per *scegliere* il tipo di rivetto corretto e *verificare* che la giunzione non ceda in nessuno dei cinque possibili modi di rottura.

<sup>a</sup>Per *rifollamento* (o *crushing/bearing* del foro) si intende lo schiacciamento plastico del materiale attorno al foro. Nel caso *sotto precarico* il danneggiamento può iniziare già per effetto della sola forza di serraggio del bullone (precarico), anche prima che agisca il carico di esercizio, causando ovalizzazione del foro e perdita di contatto/rigidezza della giunzione.

## PARTE 1 — Modalità di Rottura di una Giunzione Rivettata

### Concetto fondamentale: il bilanciamento della giunzione

Una giunzione rivettata può cedere in **cinque** modi diversi, a seconda del punto più debole del collegamento. Il progettista deve fare in modo che la giunzione sia **bilanciata**: rivetto e lamiera devono raggiungere il loro carico limite *alla stessa forza applicata*.

Se si sceglie un rivetto troppo piccolo rispetto alla lamiera, cederà il rivetto per taglio (Modo I). Se si sceglie un rivetto troppo grande rispetto alla lamiera, cederà la lamiera per ovalizzazione (Modo III). Il progetto ottimale si colloca esattamente al confine tra i due casi: **l'ovalizzazione deve precedere di poco il taglio**, in modo che il cedimento sia graduale e rilevabile prima della rottura completa.

## MODO I | Taglio del rivetto (shear failure)

**Cosa succede fisicamente.** Le lamiere sono robuste e resistono alla forza applicata senza deformarsi. È il gambo del rivetto che non regge: si *taglia di netto* lungo il piano di separazione tra le due lamiere, come una rondella tagliata con un punzone. Questo tipo di rottura è *improvviso e fragile*: non ci sono segnali visivi precursori.

**Causa principale.** Il diametro  $d$  del rivetto è insufficiente rispetto al carico trasmesso. Può anche dipendere da un materiale del rivetto con scarsa resistenza al taglio.

**Come si verifica.** Si calcola la tensione tangenziale  $\tau$  sul piano di taglio (sezione trasversale del gambo) e la si confronta con il valore ammissibile:

$$\tau = \frac{F}{A_\tau} \leq \tau_{\text{amm}} \quad \text{con} \quad A_\tau = \frac{\pi d^2}{4}$$

Invertendo, si ottiene il **diametro minimo**:

$$d_{\text{min}} = \sqrt{\frac{4F}{\pi \tau_{\text{amm}}}}$$

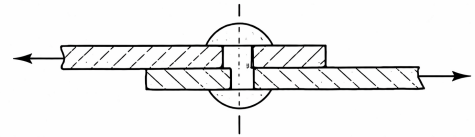


Fig. 1 — Taglio del gambo (Modo I)

## MODO II | Schiacciamento del rivetto (bearing failure)

**Cosa succede fisicamente.** Anche qui le lamiere resistono, ma in questo caso la pressione di contatto tra la parete del foro e il gambo del rivetto è così elevata da *deformare plasticamente il gambo*: il rivetto si schiaccia lateralmente e il foro si allarga. Il gambo assume una sezione non più circolare ma ovale.

**Causa principale.** Il materiale del rivetto è troppo tenero (bassa tensione di snervamento a compressione), oppure il diametro è eccessivamente piccolo rispetto allo spessore della lamiera.

**Come si verifica.** La pressione di contatto si calcola dividendo la forza per l'area proiettata del gambo (diametro per spessore):

$$\sigma_{\text{sc}} = \frac{F}{d \cdot t} \leq \sigma_{\text{sc,amm,rivetto}}$$

**Attenzione:** la formula è identica a quella del Modo III, ma i valori ammissibili si riferiscono al *materiale del rivetto*, non a quello della lamiera.

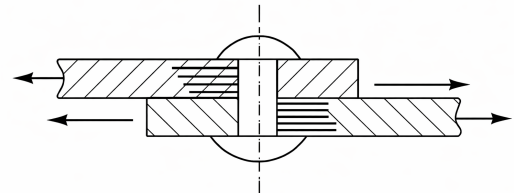


Fig. 2 — Schiacciamento del gambo (Modo II)

### MODO III | Ovalizzazione del foro (rivet hole elongation)

**Cosa succede fisicamente.** Il rivetto è abbastanza robusto da non tagliarsi e da non schiacciarsi. È invece la lamiera a cedere: la parete del foro non regge alla pressione del gambo e si deforma plasticamente. Il foro, inizialmente circolare, diventa allungato nella direzione del carico (*ovalizzazione* o *rifollamento del foro*). La giunzione perde progressivamente la sua capacità portante.

**Causa principale.** Lo spessore della lamiera è insufficiente, oppure la lega di alluminio utilizzata ha una bassa tensione di rifollamento.

**Come si verifica.**

$$\sigma_{\text{rif}} = \frac{F}{d \cdot t} \leq \sigma_{\text{rif,amm,lamiera}}$$

**Nota didattica:** i Modi II e III usano la stessa formula ma riferita a materiali diversi. Spesso  $\sigma_{\text{rif,amm,lamiera}} < \sigma_{\text{sc,amm,rivetto}}$  perché la lamiera è di lega più tenera del rivetto.

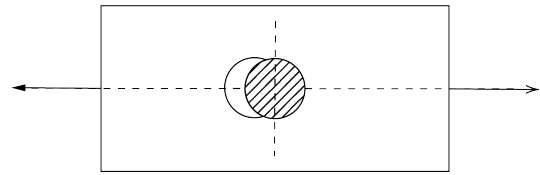


Fig. 3 — Ovalizzazione del foro (Modo III)

### MODO IV | Tranciamento al bordo libero (shear-out / tear-out)

**Cosa succede fisicamente.** I rivetti sono dimensionati correttamente e i fori non si ovalizzano, ma il rivetto si trova troppo vicino al bordo libero della lamiera. La striscia di materiale tra il foro e il bordo è sottoposta a taglio e *si strappa di netto*, come si strappa una linguetta da un foglio di carta perforato.

**Causa principale.** La distanza  $A$  tra l'asse del foro e il bordo libero della lamiera è insufficiente.

**Come si previene.** Si impone un rapporto minimo tra distanza dal bordo e diametro del rivetto:

$$\frac{A}{d} \geq 1,5 \quad (\text{minimo assoluto}) \quad \frac{A}{d} = 2,0 \quad (\text{valore normale})$$

ovvero si consultano i valori  $A_{\text{min}}$  e  $A_{\text{norm}}$  dalla tabella delle distanze (vedi Fase E – Sezione 2).

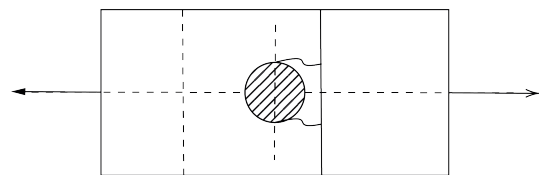


Fig. 4 — Tranciamento al bordo libero (Modo IV)

**MODO V | Strappo della lamiera lungo la fila (tension failure)**

**Cosa succede fisicamente.** Il carico di trazione agisce perpendicolarmente alla fila di rivetti. La sezione resistente della lamiera non è quella lorda (larghezza totale), ma quella *netta*, cioè ridotta dai fori. Se questa sezione netta è insufficiente, la lamiera si strappa *lungo la linea che congiunge i centri dei fori*: si apre una fessura che percorre tutta la fila di rivetti.

**Causa principale.** Il passo  $p$  (distanza tra due rivetti consecutivi) è troppo piccolo oppure il diametro  $d$  è troppo grande rispetto al passo, riducendo eccessivamente la sezione netta.

**Come si verifica.** Si calcola la tensione sulla sezione netta:

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{n \cdot t \cdot (p - d)} \leq \sigma_{\text{amm, lamiera}}$$

dove  $n \cdot (p - d) \cdot t$  è l'area netta totale resistente allo strappo.

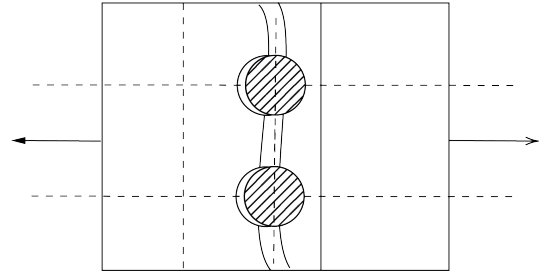


Fig. 5 — Strappo lungo la fila (Modo V)

**Effetto di concentrazione delle tensioni in prossimità dei fori**

La presenza di un foro circolare in una lamiera tesa non si limita a ridurre la sezione resistente: genera anche una **concentrazione locale di tensione**. In posizione diametralmente opposta rispetto alla direzione del carico (cioè ai lati del foro), la tensione locale raggiunge un valore pari a *tre volte* la tensione nominale:

$$\sigma_{\max} = 3\sigma_{\text{nom}}$$

Questo fenomeno è particolarmente critico nelle strutture soggette a carichi ciclici (struttura alare in volo), dove può innescare cricche da fatica. Per questo motivo, in sede di progetto, è importante non avvicinare troppo i fori tra loro e non usare diametri eccessivamente grandi rispetto alla dimensione trasversale dell'elemento.

## PARTE 2 — Algoritmo di Dimensionamento in 6 Fasi

### Come usare l'algoritmo

Le sei fasi devono essere eseguite **in sequenza** e senza saltarne nessuna. Ogni fase produce uno o più risultati numerici che alimentano le fasi successive. Al termine delle sei fasi avrai: il tipo di rivetto (AN 430 o AN 426), il diametro  $d$ , la lunghezza del gambo  $l$ , il materiale, il passo  $p$  e la distanza dal bordo  $A$  — tutti i dati necessari per la designazione completa e per il disegno costruttivo.

### FASE A Raccolta dei Dati del Problema

La Fase A è quella in cui si analizza il problema *prima di fare qualsiasi calcolo*. Un errore nella raccolta dati si propaga inevitabilmente su tutte le fasi successive.

#### A.1. Identificare l'applicazione strutturale.

Capire *dove* si trova il collegamento e *quale forza* trasmette è il punto di partenza. I casi principali nell'ala sono:

- Rivestimento – centina (bordo d'attacco): i rivetti trasmettono il carico aerodinamico dal rivestimento alle centine; devono avere testa a filo per non disturbare il profilo aerodinamico.
- Anima – centine (pannelli interni): i rivetti lavorano a taglio; la testa sporgente è accettabile perché non è esposta al flusso.
- Anima – soletta del longherone: i rivetti devono trasmettere il flusso di taglio lungo l'altezza dell'anima; il passo è calcolato con la formula di Jourawsky.

#### A.2. Determinare lo spessore di riferimento $t$ .

Se si devono collegare **due lamiere di spessore diverso**, si considera *sempre la più sottile*: sarà la prima a cedere per ovalizzazione (Modo III) o per strappo (Modo V).

#### Errore tipico

Usare la lamiera più spessa come riferimento porta a scegliere un rivetto sovradimensionato per quella più sottile, che cederà prematuramente.

#### A.3. Identificare il materiale delle lamiere e il materiale del rivetto.

I materiali normalizzati nelle tabelle di selezione sono:

Sigla	Materiale	Caratteristica
PE 50	Peraluman 50 (Al-Mg)	Tenera, ottima resistenza alla corrosione
AV 22	Avional 22 (Al-Cu)	Media resistenza, buona lavorabilità
AV 24	Avional 24 (Al-Cu-Mg)	Alta resistenza, lega strutturale primaria

#### A.4. Verificare l'accessibilità al lato posteriore della giunzione.

- Accesso da **entrambi i lati**: si usano i **rivetti solidi** (AN 430 testa tonda, AN 426 testa svasata), che richiedono una persona con il contropunzone sul lato opposto.

- Accesso da **un solo lato**: si usano i **rivetti a strappo** (*blind rivets*), installabili da un lato solo con l'apposita pinza. Sono meno resistenti dei rivetti solidi, ma indispensabili nelle zone chiuse della struttura.

## FASE B Scelta del Tipo di Giunzione

Il *tipo di giunzione* determina sia la geometria del collegamento (sede fresata, imbutita o contatto diretto) sia il tipo di testa del rivetto, e di conseguenza la tabella di selezione da consultare nella Fase C.

Tab.	Tipo	Geometria	Testa rivetto	Applicazione tipica
1	1	Fila singola, contatto diretto tra le lamiera	Tonda sporgente (AN 430)	Pannelli interni, anima-centina, zone non esposte al flusso aerodinamico
2	2	Fila singola, sede <b>fresata</b> a 100° nella lamiera	Svasata 100° piana (AN 426 fresato)	Rivestimento esterno su velivoli veloci; superfici aerodinamiche
3	3	Fila singola, sede <b>imbutita</b> a 100° (deformazione plastica)	Svasata 100° imbutita (AN 426 imbutito)	Bordo d'attacco alare; zone a flusso laminare; rivestimento-centina

**Differenza tra fresatura e imbutitura.** Nella sede fresata si asporta materiale dalla lamiera (richiede spessore minimo adeguato). Nella sede imbutita si deforma plasticamente il bordo del foro senza asportare materiale (adatta a lamiera sottili). In *nessun caso* la profondità della sede può essere inferiore all'altezza della testa del rivetto: la testa deve risultare a filo con la superficie o lievemente al di sotto.

### Regola pratica — come scegliere rapidamente

- Zona esposta al flusso aerodinamico (rivestimento esterno, bordo d'attacco) → testa a filo → **Tab. 2 o Tab. 3** (Tab. 3 per lamiera sottili o bordo d'attacco dove non c'è spessore per fresare; Tab. 2 per lamiera più spesse con sede fresata)
- Zona interna non visibile dall'esterno (anima, correnti interni) → testa sporgente accettabile → **Tab. 1**

### FASE C Lettura del Diametro dalla Tabella di Selezione

Con la combinazione (numero tabella + materiale rivetto + spessore lamiera) si entra nelle tabelle seguenti e si legge il **diametro nominale minimo**  $d$  del rivetto.

#### Come leggere la tabella — regola del gradino.

Nelle tabelle, ogni cella corrisponde a una combinazione (diametro rivetto, spessore lamiera).

Le celle sono divise in due zone da una *linea a gradino*:

- Celle **azzurre** (a sinistra del gradino) → per quello spessore e quel diametro, la rottura avviene per **ovalizzazione della lamiera** (Modo III): il foro cede prima del rivetto. Questa è la zona di corretto dimensionamento.
- Celle **bianche** (a destra del gradino) → la rottura avviene per **taglio del rivetto** (Modo I): il rivetto cede prima della lamiera. *Questa zona va evitata.*

#### Criterio di scelta: il valore immediatamente a sinistra del gradino

Per ottenere una giunzione bilanciata si sceglie il diametro corrispondente alla **cella azzurra immediatamente a sinistra del gradino**, nella riga del materiale desiderato. In questo modo l'ovalizzazione precede di poco il taglio: il cedimento è graduale, prevedibile e rilevabile prima della rottura completa.

## Integrazione al manuale COA: rivetti AN 430 e AN 426

### Rivetti standard aeronautici

Nella progettazione delle strutture aeronautiche le giunzioni tra pannelli di rivestimento, anime di longheroni e centine sono molto spesso realizzate mediante **rivetti**.

Il manuale COA tratta in modo approfondito la **resistenza delle giunzioni rivettate** e i criteri di verifica strutturale; tuttavia, nelle esercitazioni e nei disegni costruttivi compare frequentemente la designazione tradizionale dei rivetti aeronautici secondo la normativa americana **AN (Army–Navy)**.

Tra i rivetti più diffusi nella costruzione di aeromobili in lega leggera si trovano in particolare:

- **AN 430** : rivetto a **testa tonda sporgente**;
- **AN 426** : rivetto a **testa piano-svasata**.

La differenza tra i due tipi riguarda principalmente la **geometria della testa** e quindi il **campo di impiego costruttivo**.

### Tabella comparativa dei rivetti AN 430 e AN 426

Sigla	Tipo di testa	Angolo testa	Impiego tipico
AN 430	testa tonda sporgente	–	giunzioni interne, strutture non esposte al flusso aerodinamico
AN 426	testa piano-svasata	100°	rivestimento esterno, bordo d'attacco, superfici aerodinamiche

### Regola pratica di scelta del tipo di rivetto

Situazione costruttiva	Rivetto consigliato	Motivazione
pannelli interni della struttura	AN 430	la testa sporgente non crea problemi aerodinamici e non richiede lavorazioni aggiuntive della lamiera
rivestimento esterno dell'ala o della fusoliera	AN 426	la superficie deve rimanere liscia per non aumentare la resistenza aerodinamica
bordo d'attacco	AN 426	la continuità superficiale del profilo è fondamentale per il corretto comportamento aerodinamico
strutture interne non esposte al flusso	AN 430	maggiore semplicità costruttiva e assenza di lavorazioni della sede

### Designazione completa di un rivetto

La designazione di un rivetto aeronautico comprende generalmente:

- il **tipo di testa**
- il **materiale**
- il **diametro nominale**
- la **lunghezza**

Ad esempio

AN426AD4-6

indica:

- rivetto **AN 426** (testa svasata)
- materiale **AD** (lega di alluminio 2117)
- diametro nominale **4**
- lunghezza nominale **6**

**Attenzione**

L'utilizzo di rivetti a **testa svasata** richiede la **preparazione della sede nella lamiera** mediante svasatura oppure imbutitura.

Per questo motivo tali rivetti vengono impiegati solo quando la qualità aerodinamica della superficie lo richiede (es. rivestimenti esterni o bordo d'attacco).

**Conclusione**

In sintesi:

- **AN 430** → testa tonda sporgente, uso generale nelle strutture interne;
- **AN 426** → testa svasata, impiego sulle superfici aerodinamiche;
- la scelta tra i due tipi dipende principalmente da **considerazioni costruttive e aerodinamiche**;
- le **verifiche strutturali della giunzione** (taglio del rivetto, rifollamento, strappo della lamiera) rimangono invece le stesse.

**Tabella 1 | Giunzione tipo 1 — Testa tonda sporgente (AN 430) — Pannelli interni**

rivetti		spessore lamiera in mm													
mat.	Ø(mm)	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
<b>PE 50</b>	2,4	■	■	■	■										
	3,2	■	■	■	■	■	■								
	4	■	■	■	■	■	■	■	■						
	4,8	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
	6,4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
<b>AV 22</b>	2,4	■	■	■											
	3,2	■	■	■	■	■									
	4	■	■	■	■	■	■	■							
<b>AV 24</b>	4,8	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
	6,4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			

Schema del tipo di giunzione (dal manuale, Tab. 1)

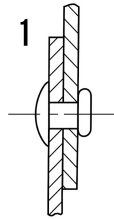
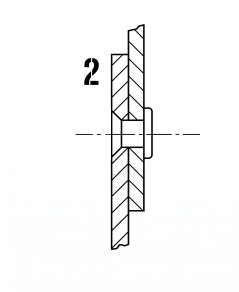


Tabella 2 | Giunzione tipo 2 — Testa svasata fresata 100° (AN 426) — Rivestimento esterno

rivetti		spessore lamiera in mm													
mat.	Ø(mm)	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
PE 50	2,4	■	■	■											
	3,2	■	■	■	■	■									
	4	■	■	■	■	■	■	■							
	4,8	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
	6,4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
AV 22	2,4	■	■												
	3,2	■	■	■	■										
	4	■	■	■	■	■	■								
AV 24	4,8	■	■	■	■	■	■	■	■						
	6,4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				

Schema del tipo di giunzione (dal manuale, Tab. 2)

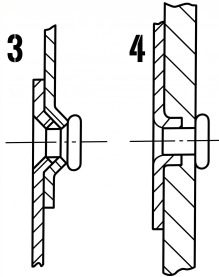


**Tabella 3 | Giunzione tipo 3 — Testa svasata imbutita 100° (AN 426) — Bordo d'attacco**

rivetti		spessore lamiera in mm													
mat.	Ø(mm)	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
PE 50	2,4	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	3,2	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□
	4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□
	4,8	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□
	6,4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□
AV 22	2,4	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	3,2	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□
	4	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□
AV 24	4,8	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□
	6,4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□

■ Zona ovalizzazione (progetto corretto) □ Zona taglio (da evitare) *Nota: la posizione del gradino è stata ricostruita dagli appunti originali; verificare con la tabella originale (p. 25) prima dell'uso in sede d'esame.*

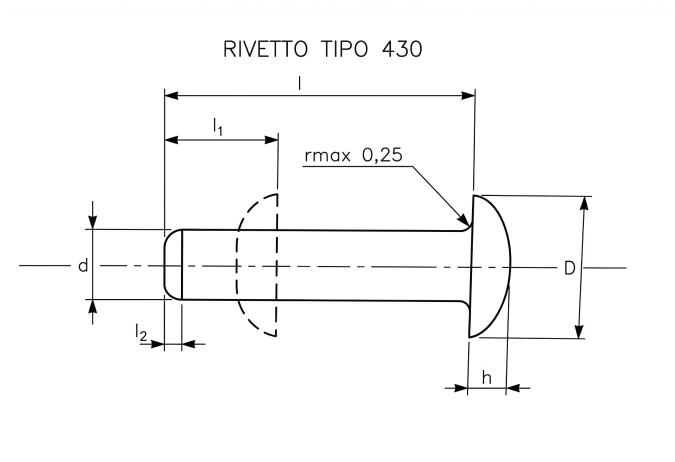
**Schema del tipo di giunzione (dal manuale, Tab. 3)**



Dati dimensionali

Par.	d 2,4	d 3,2	d 4,0	d 4,8	d 6,4
d (mm)	2,4 <sup>+0,05</sup> / <sub>-0,04</sub>	3,2 <sup>+0,05</sup> / <sub>-0,05</sub>	4,0 <sup>+0,04</sup> / <sub>-0,06</sub>	4,8 <sup>+0,03</sup> / <sub>-0,07</sub>	6,4 <sup>+0,03</sup> / <sub>-0,07</sub>
D (mm)	4,7 ± 0,2	6,3 ± 0,3	7,9 ± 0,4	9,5 ± 0,5	12,6 ± 0,7
h (mm)	1,0 <sup>+0,25</sup> / <sub>-0</sub>	1,4 <sup>+0,25</sup> / <sub>-0</sub>	1,7 <sup>+0,25</sup> / <sub>-0</sub>	2,0 <sup>+0,25</sup> / <sub>-0</sub>	2,7 <sup>+0,25</sup> / <sub>-0</sub>
l <sub>1</sub> (mm)	3,6	4,8	5,9	7,1	9,5
l <sub>2</sub> (mm)	0,6 ± 0,25	0,8 ± 0,25	1,0 ± 0,25	1,2 ± 0,25	1,6 ± 0,25

Schema quotato



Disponibile
  Non disponibile

Designazione: AN 430 - Ø[d] × [l] - [mat.]

Esempio: AN 430 - Ø4 × 20 - AVIONAL 24

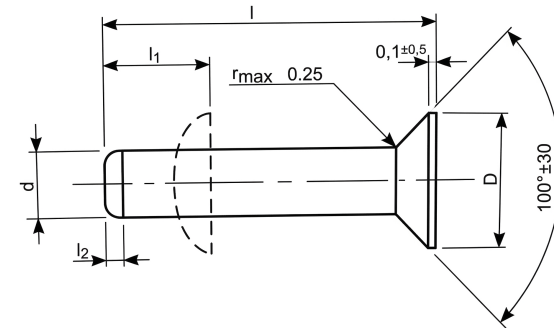
Lunghezze disponibili

d	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	40	
2,4																										
3,2																										
4,0																										
4,8																										
6,4																										

Dati dimensionali

Par.	d 2,4	d 3,2	d 4,0	d 4,8	d 6,4
d (mm)	2,4 <sup>+0,05</sup> / <sub>-0,04</sub>	3,2 <sup>+0,05</sup> / <sub>-0,05</sub>	4,0 <sup>+0,04</sup> / <sub>-0,06</sub>	4,8 <sup>+0,03</sup> / <sub>-0,07</sub>	6,4 <sup>+0,03</sup> / <sub>-0,07</sub>
D (mm)	4,54 ± 0,1	5,72 ± 0,1	7,26 ± 0,1	9,00 ± 0,1	12,10 ± 0,1
h (mm)	0,90 ± 0,05	1,06 ± 0,05	1,40 ± 0,05	1,78 ± 0,05	2,40 ± 0,05
l <sub>1</sub> (mm)	3,6	4,8	5,9	7,1	9,5
l <sub>2</sub> (mm)	0,6 ± 0,25	0,8 ± 0,25	1,0 ± 0,25	1,2 ± 0,25	1,6 ± 0,25

Schema quotato



Disponibile  Non disponibile

Designazione: AN 426 - Ø[d] × [l] - [mat.]

Esempio: AN 426 - Ø4 × 20 - AVIONAL 22

Lunghezze disponibili

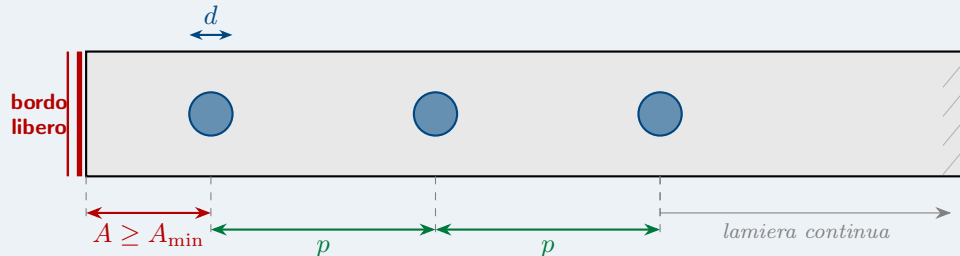
d	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	40
2,4																									
3,2																									
4,0																									
4,8																									
6,4																									

## FASE D Criteri Geometrici Rapidi per $d$ , $p$ e $A$

Una volta noto il diametro  $d$  dalla tabella, si determinano le due grandezze geometriche fondamentali della rivettatura: il **passo**  $p$  (distanza tra due rivetti consecutivi) e la **distanza dal bordo**  $A$  (distanza tra l'asse del foro e il bordo libero della lamiera). Si usano i seguenti rapporti adimensionali, ricavati dalla pratica industriale e dalle normative FAA:

Grandezza	Significato fisico	Rapporto di progetto	Formula
$d$	Diametro del rivetto	$\frac{d}{t} = 3 \div 3,5$	$d = (3 \div 3,5) t$
$p$	Passo della rivettatura	$\frac{p}{d} = 2,5 \div 3$	$p = (2,5 \div 3) d$
$A$	Distanza asse – bordo	$1,5 \leq \frac{A}{d} \leq 2,0$	$A = (1,5 \div 2,0) d$

**Interpretazione fisica dei rapporti.** Il rapporto  $d/t = 3$  nasce dall'equilibrio tra i due modi di rottura principali (taglio e ovalizzazione): per valori inferiori prevale il taglio del rivetto; per valori superiori la lamiera inizia a cedere per rifollamento prima che il rivetto possa essere sfruttato appieno. Il rapporto  $p/d$  garantisce che la sezione netta residua tra un foro e il successivo sia sufficiente a sopportare il carico (Modo V). Il rapporto  $A/d$  previene il tranciamento al bordo libero (Modo IV).



### Valori normativi dalla tabella delle distanze

I valori calcolati con i rapporti sopra indicati sono stime di primo tentativo. Il dimensionamento definitivo deve rispettare i valori **minimi assoluti** tabulati nella Fase E. Se il valore calcolato è inferiore al valore minimo tabulato, si adotta quello tabulato.

## FASE E Distanze Geometriche Minime e Verifiche Analitiche

**5.1 — Distanze minime dalla tabella normativa.** Per evitare lo strappamento (Modo IV) e la rottura a trazione (Modo V), le distanze  $A$  e  $p$  devono rispettare i valori seguenti. Sono riportati sia il valore minimo (in nessun caso scendere al di sotto) sia il valore normale (raccomandato per la produzione in serie):

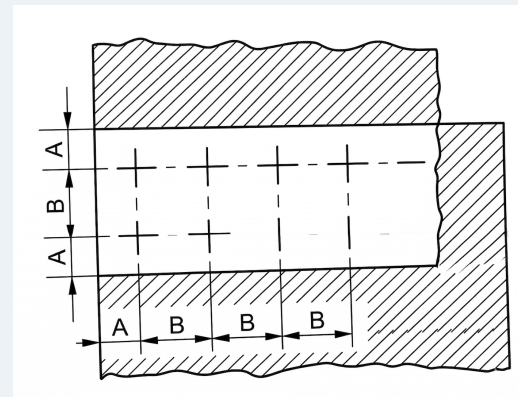
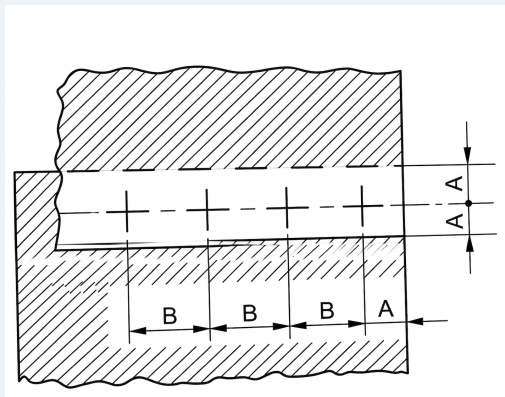
**Caso limite: spessori elevati**

Per spessori elevati (ad esempio  $t = 5 \text{ mm}$ ), può accadere che — con qualunque tipo di giunzione e con qualunque materiale di rivetto — si abbia il taglio del rivetto prima della rottura della lamiera, **per tutti i diametri riportati in tabella**. In questi casi la tabella di selezione (Fasi B-C) non individua una cella azzurra di corretto dimensionamento per quella combinazione: occorre riconsiderare la geometria della giunzione (doppio coprighiunto, rivetti multipli) oppure impiegare un materiale di rivetto più resistente.

d (mm)	Sedi piane e fresate 100°				Sedi imbutite 100°			
	A	A	B	B	A	A	B	B
	min	norm	min	norm	min	norm	min	norm
2,4	4,8	6	9,6	12-16	5,6	7	11,1	12-16
3,2	6,4	8	12,8	16-20	7,1	9	14,3	16-20
4	8	9	16	20-24	9,5	11	18,3	20-24
4,8	9,6	11	19,2	24-28	11,1	13	21,4	32-38
6,4	12,8	14	25,6	32-38	14,3	16	28,6	32-38

$A$  = distanza asse rivetto - bordo lamiera;  $B$  = passo (interasse tra rivetti adiacenti). Tutti i valori in mm.

**Schemi geometrici: fila singola e doppia fila.**



**5.2 — Verifiche analitiche di tutti i cinque modi.** Dopo aver fissato  $d$ ,  $p$  e  $A$ , si eseguono le seguenti verifiche:

Modo	Nome	Condizione di resistenza	Cede
I	Taglio rivetto	$\tau = \frac{F}{\pi d^2/4} \leq \tau_{\text{amm,riv}} \Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi \tau_{\text{amm}}}}$	Rivetto
II	Schiacciamento rivetto	$\sigma_{\text{sc}} = \frac{F}{d \cdot t} \leq \sigma_{\text{sc,amm,riv}}$	Rivetto
III	Ovalizzazione foro	$\sigma_{\text{rif}} = \frac{F}{d \cdot t} \leq \sigma_{\text{rif,amm,lam}}$	Lamiera
IV	Tranciamento bordo	$A \geq A_{\text{min}}$ (Tab. Fase E)	Lamiera
V	Strappo trazione	$\sigma = \frac{F_{\text{max}}}{n \cdot t \cdot (p - d)} \leq \sigma_{\text{amm,lam}}$	Lamiera

### FASE F Designazione Completa del Rivetto

Formato di designazione: AN [tipo] --  $\emptyset$  [d mm]  $\times$  [l mm] -- [materiale]

- **Tipo AN 430 o AN 426.**  
AN 430 = testa tonda sporgente (usato con Tab. 1)  
AN 426 = testa svasata 100° (usato con Tab. 2 e Tab. 3)

- **Diametro  $d$  [mm]:** letto dalla tabella in Fase C.

- **Lunghezza  $l$  [mm]:**

$$l = \sum_i t_i + 1,5 d$$

dove  $\sum t_i$  è la somma degli spessori di *tutte* le lamiera attraversate dal gambo. Il termine  $1,5 d$  è la lunghezza minima necessaria per *formare la controtesta*: il materiale in eccesso si deforma plasticamente e si allarga, agganciandosi alla lamiera. Se questa quantità è insufficiente, la controtesta rimane troppo piccola e la giunzione non è resistente.

Il valore  $l$  va *arrotondato al valore normalizzato superiore* disponibile nella tabella **Lunghezze disponibili** (AN 430: pag. 13; AN 426: pag. 14).

- **Materiale:** AVIONAL 22 | AVIONAL 24 | PERALUMAN 50.

#### Schema di designazione con esempio

AN 430 --  $\emptyset 4$   $\times$  9 -- AVIONAL 22

Typo: testa tonda sporgente |  $d = 4$  mm |  $l = 9$  mm | Materiale: Avional 22

## PARTE 3 — Esempi Numerici Completi

### Valori ammissibili di riferimento — materiali normalizzati

Per ricavare le tensioni ammissibili si applicano le relazioni del manuale COA con coefficiente di sicurezza  $k = 1,5$ :

$$\sigma_{\text{amm}} = \frac{R_m}{k} \quad \tau_{\text{amm}} = 0,58 \sigma_{\text{amm}} \quad \sigma_{\text{rif,amm}} = \sigma_{\text{amm}} \quad (\text{approccio conservativo del corso})$$

Materiale	Sigla	$R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{\text{amm}}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\text{amm}}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Fonte
Peraluman 50 (Al-Mg)	PE 50	230	153	89	manuale COA
Avional 22 (2017-T4)	AV 22	330	220	128	manuale COA
Avional 24 (2024-T4)	AV 24	370	247	143	manuale COA

$\sigma_{\text{rif,amm}}$  (rifollamento lamiera) =  $\sigma_{\text{amm}}$ ;  $\sigma_{\text{sc,amm}}$  (schiacciamento rivetto) =  $\sigma_{\text{amm}}$ . I valori di  $R_m$  sono quelli riportati nella tabella “Carichi di rottura” del manuale di aerotecnica (17 ST = 330 N/mm<sup>2</sup>, 24 ST = 370 N/mm<sup>2</sup>).

### Esempio 1 — Rivettatura anima-centina (pannello interno, Tab. 1)

**Dati del problema.** Collegamento tra l’anima di una centina e il corrente di bordo d’uscita. Spessore delle due lamiere: entrambe  $t = 1,5$  mm. Materiale rivetto: AV 22 (Avional 22). Accesso bilaterale. Il carico trasmesso per rivetto è  $F = 300$  N.

- Fase A.** Collegamento pannello interno, accesso bilaterale, due lamiere identiche: spessore di riferimento  $t = 1,5$  mm.
- Fase B.** Pannello interno, non esposto al flusso aerodinamico → **Tabella 1** (testa tonda sporgente, AN 430).
- Fase C.** Dalla Tabella 1, riga AV 22 / Ø4, colonna  $t = 1,5$  mm: **cella azzurra**, subito a sinistra del gradino →  $d = 4$  mm.
- Fase D.** Verifica del rapporto:  $d/t = 4/1,5 = 2,67 \approx 3$  ✓  
Calcolo passo:  $p = 3 \times 4 = 12$  mm (orientativo).  
Calcolo distanza bordo:  $A = 2 \times 4 = 8$  mm (orientativo).
- Fase E.** Dalla tabella distanze per  $d = 4$  mm, sedi piane:  $A_{\text{min}} = 8$  mm,  $A_{\text{norm}} = 9$  mm;  $B_{\text{min}} = 16$  mm,  $B_{\text{norm}} = 20 \div 24$  mm.  
Adottiamo:  $A = 9$  mm,  $p = 20$  mm.

**Valori ammissibili per AV 22** (dalla tabella di riferimento):  $R_m = 330$  N/mm<sup>2</sup>,  $k = 1,5$ ;  $\sigma_{\text{amm}} = 330/1,5 = 220$  N/mm<sup>2</sup>;  $\tau_{\text{amm}} = 0,58 \times 220 = 128$  N/mm<sup>2</sup>.

**Modo I — Taglio rivetto:**

$$\tau = \frac{F}{A_\tau} = \frac{300}{\pi \cdot 4^2/4} = \frac{300}{12,57} = 23,9 \text{ N/mm}^2 \leq \tau_{\text{amm}} = 128 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

**Modo II — Schiacciamento rivetto:**

$$\sigma_{\text{sc}} = \frac{F}{d \cdot t} = \frac{300}{4 \times 1,5} = 50 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{\text{sc,amm,riv}} = 220 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

**Modo III — Ovalizzazione foro:**

$$\sigma_{\text{rif}} = \frac{F}{d \cdot t} = 50 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{\text{rif,amm,lam}} = 220 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

**Modo IV — Tranciamento bordo:**  $A = 9 \text{ mm} \geq A_{\text{min}} = 8 \text{ mm} \quad \checkmark$

**Modo V — Strappo a trazione:**

$$\sigma = \frac{F}{n \cdot t \cdot (p - d)} = \frac{300}{1 \times 1,5 \times (20 - 4)} = \frac{300}{24} = 12,5 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{\text{amm,lam}} = 220 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Tutti e cinque i modi verificati: la giunzione è resistente.

**6. Fase F.**  $l = 2 \times 1,5 + 1,5 \times 4 = 3,0 + 6,0 = 9 \text{ mm}$

Il valore 9 mm è già normalizzato.

**Risultato**

AN 430 --  $\varnothing 4 \times 9$  -- AVIONAL 22  
 $d = 4 \text{ mm}$ ,  $l = 9 \text{ mm}$ , passo  $p = 20 \text{ mm}$ , distanza bordo  $A = 9 \text{ mm}$

### Esempio 2 — Rivestimento bordo d'attacco (Tab. 3)

**Dati del problema.** Collegamento tra il rivestimento del bordo d'attacco alare e la relativa centina. Spessore del rivestimento:  $t_1 = 1,2 \text{ mm}$ ; spessore della flangia della centina:  $t_2 = 1,5 \text{ mm}$ . Materiale rivetto: PE 50 (Peraluman 50). Zona esposta al flusso aerodinamico, accesso bilaterale. Carico trasmesso per rivetto:  $F = 400 \text{ N}$ .

- Fase A.** Zona esposta al flusso. Due lamiere di spessore diverso: si considera la più sottile  $\rightarrow t = 1,2 \text{ mm}$ .
- Fase B.** Bordo d'attacco, finitura aerodinamica richiesta, lamiera sottile (non sufficiente per fresatura)  $\rightarrow$  **Tabella 3** (imbutita, AN 426).
- Fase C.** Dalla Tabella 3, riga PE 50 /  $\varnothing 4,8$ , colonna  $t = 1,2 \text{ mm}$ : **cella azzurra** a sinistra del gradino  $\rightarrow d = 4,8 \text{ mm}$ .
- Fase D.**  $d/t = 4,8/1,2 = 4 > 3,5$ : il rapporto è leggermente superiore al valore guida, ma è il diametro minimo letto dalla tabella per questa combinazione; si accetta.  
 $p = 3 \times 4,8 = 14,4 \text{ mm}$  (orientativo);  $A = 2 \times 4,8 = 9,6 \text{ mm}$ .
- Fase E.** Dalla tabella,  $d = 4,8 \text{ mm}$ , sede imbutita:  $A_{\text{min}} = 11,1 \text{ mm}$ ,  $A_{\text{norm}} = 13 \text{ mm}$ ;

$$B_{\text{norm}} = 32 \div 38 \text{ mm.}$$

Adottiamo:  $A = 13 \text{ mm}$ ,  $p = 32 \text{ mm}$ .

**Valori ammissibili per PE 50** (dalla tabella di riferimento):  $R_m = 230 \text{ N/mm}^2$ ,  
 $k = 1,5$ ;  $\sigma_{\text{amm}} = 230/1,5 = 153 \text{ N/mm}^2$ ;  $\tau_{\text{amm}} = 0,58 \times 153 = 89 \text{ N/mm}^2$ .

**Modo I — Taglio rivetto:**

$$\tau = \frac{F}{A_\tau} = \frac{400}{\pi \cdot 4,8^2/4} = \frac{400}{18,10} = 22,1 \text{ N/mm}^2 \leq \tau_{\text{amm}} = 89 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

**Modo II — Schiacciamento rivetto:**

$$\sigma_{\text{sc}} = \frac{F}{d \cdot t} = \frac{400}{4,8 \times 1,2} = 69,4 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{\text{sc,amm,riv}} = 153 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

**Modo III — Ovalizzazione foro** (lamiera più sottile  $t_1 = 1,2 \text{ mm}$ ):

$$\sigma_{\text{rif}} = \frac{F}{d \cdot t_1} = 69,4 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{\text{rif,amm,lam}} = 153 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

**Modo IV — Tranciamento bordo:**  $A = 13 \text{ mm} \geq A_{\text{min}} = 11,1 \text{ mm} \quad \checkmark$

**Modo V — Strappo a trazione:**

$$\sigma = \frac{F}{n \cdot t_1 \cdot (p - d)} = \frac{400}{1 \times 1,2 \times (32 - 4,8)} = \frac{400}{32,64} = 12,3 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{\text{amm,lam}} = 153 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Tutti e cinque i modi verificati.

**6. Fase F.** Spessore totale:  $t_1 + t_2 = 1,2 + 1,5 = 2,7 \text{ mm}$ .

$$l = 2,7 + 1,5 \times 4,8 = 2,7 + 7,2 = 9,9 \text{ mm}$$

Arrotondato al normalizzato superiore:  $l = 10 \text{ mm}$ .

### Risultato

AN 426 --  $\emptyset 4,8 \times 10$  -- PERALUMAN 50

$d = 4,8 \text{ mm}$ ,  $l = 10 \text{ mm}$ , passo  $p = 32 \text{ mm}$ , distanza bordo  $A = 13 \text{ mm}$

---

## PARTE 4 — Vademecum degli Errori Tipici

---

### Errori da evitare — da leggere PRIMA di ogni esercizio

- 1. Sbagliare la lamiera di riferimento.**

In presenza di due lamiere di spessore diverso si considera *sempre* la **più sottile**. È la più sottile che cede per ovalizzazione (Modo III) o per strappo (Modo V). Usare la più spessa porta a sottodimensionare il rivetto rispetto alla lamiera debole, con conseguente cedimento prematuro della giunzione.
- 2. Leggere il diametro dalla zona sbagliata della tabella.**

Le celle a *destra* del gradino indicano la zona di taglio del rivetto (Modo I): quella zona è *inammissibile in fase di progetto*. Si sceglie **sempre il diametro corrispondente alla cella azzurra immediatamente a sinistra del gradino**. Una cella più a sinistra indica un diametro superiore al necessario (giunzione sbilanciata verso il rivetto).
- 3. Non verificare le distanze geometriche.**

Un rivetto di diametro corretto posizionato troppo vicino al bordo libero della lamiera porta comunque al tranciamento (Modo IV). Le distanze  $A$  e  $p$  devono essere verificate contro i valori tabulati nella Fase E: se il valore calcolato con i rapporti adimensionali è inferiore al minimo tabulato, si adotta quello tabulato.
- 4. Calcolare male la lunghezza del gambo.**

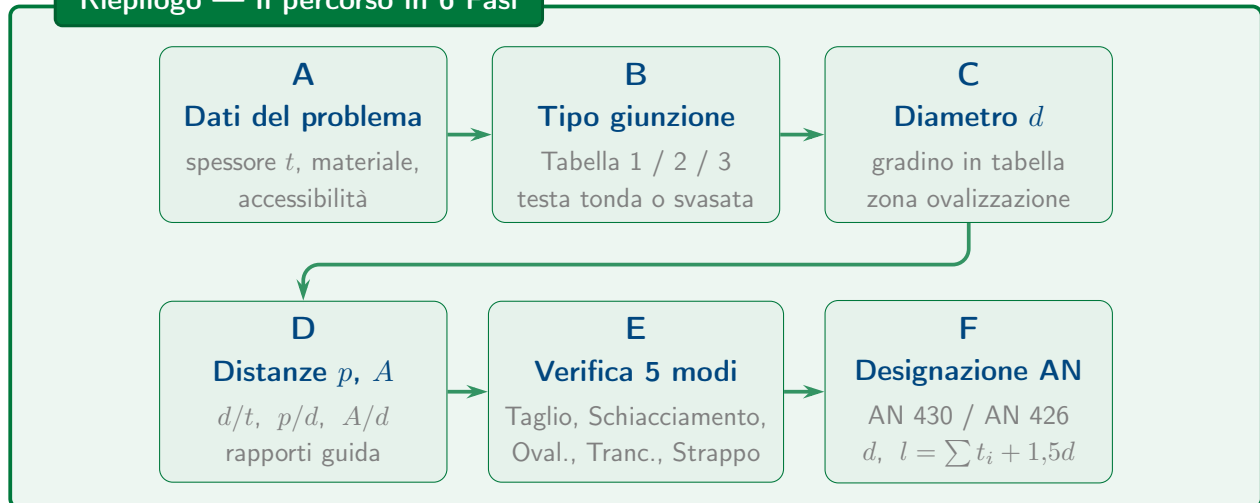
Se  $l < \sum t_i + 1,5d$ , la controtesta non si forma correttamente. La giunzione appare installata correttamente ma non trasmette il carico di progetto. **Arrotondare sempre al valore normalizzato superiore**, non a quello inferiore.
- 5. Usare AN 426 dove la lamiera è troppo sottile per la sede.**

L'AN 426 (testa svasata) richiede una preparazione della sede: fresatura (richiede spessore minimo adeguato) oppure imbutitura (adatta a lamiere sottili ma solo fino a un certo limite). Se la lamiera è troppo sottile anche per l'imbutitura, la sede non può avere profondità sufficiente per alloggiare la testa del rivetto, e la testa sporgerebbe comunque. In questo caso si deve scegliere un diametro più piccolo oppure cambiare tipo di giunzione.
- 6. Ignorare il Modo V (strappo a trazione) quando il passo è piccolo.**

Con passi ridotti (file fitte di rivetti), la sezione netta ( $p - d$ ) può diventare molto piccola e la lamiera può cedere per trazione lungo la fila dei fori anche se il rivetto è correttamente dimensionato. Verificare sempre la Fase E anche per la condizione di strappo.
- 7. Confondere la tensione di taglio con quella di rifollamento.**

Modi II e III usano la stessa formula  $F/(d \cdot t)$  ma si riferiscono a materiali e valori ammissibili diversi: il Modo II riguarda il *rivetto* (si usa  $\sigma_{amm}$  del materiale del rivetto), il Modo III riguarda la *lamiera* (si usa  $\sigma_{amm}$  del materiale della lamiera). Confrontare con il valore sbagliato porta a una verifica errata.

## Riepilogo — Il percorso in 6 Fasi



## ESERCIZIO FINALE — Applicazione del percorso in 6 Fasi

### Testo dell'esercizio

Si devono unire due lamiere sovrapposte mediante **rivetti pieni a testa tonda sporgente AN 430** (giunzione a **fila singola**).

- Lamiera 1 (più sottile): **spessore**  $t_1 = 0,8$  mm.
- Lamiera 2: **spessore**  $t_2 = 1,2$  mm.
- Materiale rivetto: **AV 22**.
- Si richiede: scelta di  $d$ , **passo**  $p$ , **distanza dal bordo**  $A$ , **lunghezza**  $l$  e **designazione completa** del rivetto.

Svolgere l'esercizio seguendo lo **schema generale in 6 fasi (A → F)** riportato a pag. 22.

### Svolgimento passo-passo (6 fasi)

#### Fase A. Fissare il tipo di giunzione e la testa.

Testa tonda sporgente **AN 430**  $\Rightarrow$  usare la **Tabella 1** (giunzione tipo 1, pannelli interni).

#### Fase B. Individuare la lamiera di riferimento.

Si dimensiona rispetto alla **lamiera più sottile**:  $t = \min(t_1, t_2) = 0,8$  mm.

#### Fase C. Leggere il diametro dalla tabella.

In **Tabella 1**, riga **AV 22** e colonna  $t = 0,8$  mm: la prima combinazione ammessa porta a scegliere  $d = 3,2$  mm (cella azzurra immediatamente a sinistra del gradino).

#### Fase D. Stimare i rapporti guida (prima scelta).

Valori orientativi:  $p \approx 3d = 3 \times 3,2 = 9,6$  mm,  $A \approx 2d = 2 \times 3,2 = 6,4$  mm.

#### Fase E. Verificare/Correggere con le distanze tabulate e i 5 modi.

Dalla tabella delle distanze geometriche (riga  $d = 3,2$  mm, **sedici piane**):  $A_{\min} = 6,4$  mm,  $A_{\text{norm}} = 8$  mm;  $B_{\min} = 12,8$  mm,  $B_{\text{norm}} = 16$  mm (fino a 20 mm).

Si adotta una scelta normale e facilmente quotabile:  $A = 8$  mm e  $p = 16$  mm.

(Questa scelta soddisfa la geometria contro il tranciamento bordo e imposta correttamente la configurazione per le verifiche dei 5 modi.)

#### Fase F. Calcolare $l$ e scrivere la designazione completa.

Spessore totale attraversato:  $\sum t_i = t_1 + t_2 = 0,8 + 1,2 = 2,0$  mm.

Lunghezza minima gambo:  $l = \sum t_i + 1,5d = 2,0 + 1,5 \times 3,2 = 2,0 + 4,8 = 6,8$  mm.

Arrotondando al normalizzato superiore:  $l = 7$  mm.

### Risultato

AN 430 --  $\emptyset 3,2 \times 7$  -- AVIONAL 22  
 $d = 3,2$  mm,  $l = 7$  mm, passo  $p = 16$  mm, distanza bordo  $A = 8$  mm

## ESERCIZIO AGGIUNTIVO — Secondo esempio guidato (6 Fasi)

### Testo dell'esercizio

Si devono unire due lamiere sovrapposte mediante **rivetti pieni a testa svasata imbutita 100° AN 426** (giunzione a **fila singola**).

- Lamiera 1 (più sottile): **spessore**  $t_1 = 1,0$  mm.
- Lamiera 2: **spessore**  $t_2 = 1,5$  mm.
- Materiale rivetto: **PE 50**.
- Si richiede: scelta di  $d$ , **passo**  $p$ , **distanza dal bordo**  $A$ , **lunghezza**  $l$  e **designazione completa** del rivetto.

### Svolgimento passo-passo (6 fasi)

**Fase A. Fissare il tipo di giunzione e la testa.**

Testa svasata **imbutita 100° AN 426**  $\Rightarrow$  usare la **Tabella 3** (giunzione tipo 3).

**Fase B. Individuare la lamiera di riferimento.**

Si dimensiona rispetto alla **lamiera più sottile**:  $t = \min(t_1, t_2) = 1,0$  mm.

**Fase C. Leggere il diametro dalla tabella.**

In **Tabella 3**, riga **PE 50** e colonna  $t = 1,0$  mm: scegliere la **cella azzurra immediatamente a sinistra del gradino**  $\Rightarrow d = 4,0$  mm.

**Fase D. Stimare i rapporti guida (prima scelta).**

Valori orientativi:  $p \approx 3d = 3 \times 4,0 = 12$  mm,  $A \approx 2d = 2 \times 4,0 = 8$  mm.

**Fase E. Verificare/Correggere con le distanze tabulate e i 5 modi.**

Dalla tabella delle distanze geometriche (riga  $d = 4,0$  mm, **sedi imbutite 100°**):  $A_{\min} = 9,5$  mm,  $A_{\text{norm}} = 11$  mm;  $B_{\min} = 18,3$  mm,  $B_{\text{norm}} = 20 \div 24$  mm.

Si adottano valori normali:  $A = 11$  mm e  $p = 20$  mm.

**Fase F. Calcolare  $l$  e scrivere la designazione completa.**

Spessore totale attraversato:  $\sum t_i = t_1 + t_2 = 1,0 + 1,5 = 2,5$  mm.

Lunghezza minima gambo:  $l = \sum t_i + 1,5d = 2,5 + 1,5 \times 4,0 = 2,5 + 6,0 = 8,5$  mm.

Arrotondando al normalizzato superiore:  $l = 9$  mm.

### Risultato

**AN 426 --  $\varnothing 4,0 \times 9$  -- PERALUMAN 50**

$d = 4,0$  mm,  $l = 9$  mm, passo  $p = 20$  mm, distanza bordo  $A = 11$  mm

## ESERCIZIO EXTRA — Allenamento (con traccia di metodo)

### Testo dell'esercizio (da svolgere)

Si deve progettare una giunzione rivettata tra due lamiere sovrapposte per un pannello di rivestimento esterno. Si impone l'uso di **rivetti pieni a testa svasata fresata 100° AN 426** (giunzione a **fila singola**).

- Lamiera 1 (più sottile): **spessore**  $t_1 = 1,2$  mm.
- Lamiera 2: **spessore**  $t_2 = 1,8$  mm.
- Materiale rivetto: **AV 24**.
- Richiesto: determinare  $d$ ,  $A$ ,  $p$ ,  $l$  e la **designazione completa** del rivetto.

### Traccia di svolgimento (usa il percorso in 6 fasi)

#### Fase A. Fase A (dato di progetto).

Specifica il tipo di testa e la zona di impiego (rivestimento esterno)  $\Rightarrow$  identifica quale tabella usare.

#### Fase B. Fase B (lamiera di riferimento).

Scrivi lo spessore di riferimento:  $t = \min(t_1, t_2) = \underline{\hspace{2cm}}$ .

#### Fase C. Fase C (scelta diametro).

Nella tabella corretta (riga materiale e colonna  $t$ ), leggi la **cella azzurra subito a sinistra del gradino** e ricava:  $d = \underline{\hspace{2cm}}$ .

#### Fase D. Fase D (prima stima $p$ e $A$ ).

Stima:  $p \approx 3d = \underline{\hspace{2cm}}$  mm,  $A \approx 2d = \underline{\hspace{2cm}}$  mm.

#### Fase E. Fase E (verifiche e correzioni).

Usa la tabella delle distanze geometriche per **sedi fresate 100°**: imposta almeno  $A \geq A_{\min}$  e  $p \geq B_{\min}$ . Poi verifica qualitativamente i 5 modi (I–V) e, se necessario, aggiorna  $A$  e  $p$  ai valori *normalizzati*.

#### Fase F. Fase F (lunghezza e designazione AN).

Calcola:  $\sum t_i = t_1 + t_2 = \underline{\hspace{2cm}}$  mm.

$l = \sum t_i + 1,5d = \underline{\hspace{2cm}}$  mm  $\Rightarrow$  arrotonda al normalizzato superiore e scrivi la designazione completa.

### Esercizio — Applicazione degli schemi geometrici

**Dati.** Si vuole definire la **disposizione geometrica** di una rivettatura su una lamiera, usando gli schemi: *fila singola* e *doppia fila* (come a pag. 16).

- Diametro rivetto:  $d = 3,2$  mm.
- Si adottano i valori geometrici normalizzati:  $A = 8$  mm e  $p = B = 16$  mm.
- Lunghezza tratto da rivettare:  $L = 120$  mm.

**Richiesto.**

- a) Fila singola: determina il **numero di rivetti** lungo  $L$  (assumendo primo e ultimo rivetto a distanza  $A$  dagli estremi) e riporta le quote principali.
- b) Doppia fila: calcola la **larghezza minima** di lamiera necessaria per contenere lo schema ( $W_{\min} = 2A + B$ ) e indica le quote verticali ( $A-B-A$ ).

**Soluzione guidata**

- a) **Fila singola.** La lunghezza utile tra i due margini vale  $L_u = L - 2A = 120 - 16 = 104$  mm.  
Numero di interassi:  $n_{\text{int}} = \left\lfloor \frac{L_u}{p} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{104}{16} \right\rfloor = 6$ .  
Numero rivetti:  $n = n_{\text{int}} + 1 = 7$ .  
Quote: estremi a  $A$  dagli orli, interasse costante  $p = B$ .
- b) **Doppia fila.** Dallo schema geometrico (pag. 16) la larghezza minima richiesta è  $W_{\min} = 2A + B = 2 \cdot 8 + 16 = 32$  mm.  
Quote verticali:  $A$  (bordo  $\rightarrow$  1<sup>a</sup> fila),  $B$  (tra le due file),  $A$  (2<sup>a</sup> fila  $\rightarrow$  bordo).

---

## 10 ESERCIZI — Tracce (con risultati finali)

---

Per ogni esercizio applicare sempre il percorso in 6 fasi ( $A \rightarrow F$ ). I risultati sotto riportano i valori finali adottati:  $d$ ,  $A$ ,  $p$ ,  $l$  e designazione AN.

**Esercizio 1. AN 430 (testa tonda), fila singola, pannelli interni.**

$t_1 = 0,8 \text{ mm}$ ,  $t_2 = 1,2 \text{ mm}$ , materiale rivetto AV 22.

**Risultato:** AN 430 —  $\text{Ø}3,2 \times 7$  — AVIONAL 22;  $A = 8 \text{ mm}$ ,  $p = 16 \text{ mm}$ .

**Esercizio 2. AN 430 (testa tonda), fila singola, pannelli interni.**

$t_1 = 1,0 \text{ mm}$ ,  $t_2 = 1,5 \text{ mm}$ , materiale rivetto AV 22.

**Risultato:** AN 430 —  $\text{Ø}4,0 \times 9$  — AVIONAL 22;  $A = 9 \text{ mm}$ ,  $p = 20 \text{ mm}$ .

**Esercizio 3. AN 430 (testa tonda), fila singola, pannelli interni.**

$t_1 = 1,2 \text{ mm}$ ,  $t_2 = 1,8 \text{ mm}$ , materiale rivetto AV 24.

**Risultato:** AN 430 —  $\text{Ø}4,8 \times 12$  — AVIONAL 24;  $A = 11 \text{ mm}$ ,  $p = 24 \text{ mm}$ .

**Esercizio 4. AN 430 (testa tonda), fila singola, pannelli interni.**

$t_1 = 0,5 \text{ mm}$ ,  $t_2 = 0,8 \text{ mm}$ , materiale rivetto PE 50.

**Risultato:** AN 430 —  $\text{Ø}2,4 \times 5$  — PERALUMAN 50;  $A = 6 \text{ mm}$ ,  $p = 12 \text{ mm}$ .

**Esercizio 5. AN 430 (testa tonda), fila singola, pannelli interni.**

$t_1 = 1,5 \text{ mm}$ ,  $t_2 = 2,0 \text{ mm}$ , materiale rivetto PE 50.

**Risultato:** AN 430 —  $\text{Ø}6,4 \times 14$  — PERALUMAN 50;  $A = 14 \text{ mm}$ ,  $p = 32 \text{ mm}$ .

**Esercizio 6. AN 426 (testa svasata imbutita  $100^\circ$ ), fila singola, bordo d'attacco.**

$t_1 = 1,0 \text{ mm}$ ,  $t_2 = 1,5 \text{ mm}$ , materiale rivetto PE 50.

**Risultato:** AN 426 —  $\text{Ø}4,0 \times 9$  — PERALUMAN 50;  $A = 11 \text{ mm}$ ,  $p = 20 \text{ mm}$ .

**Esercizio 7. AN 426 (testa svasata imbutita  $100^\circ$ ), fila singola, bordo d'attacco.**

$t_1 = 1,2 \text{ mm}$ ,  $t_2 = 1,5 \text{ mm}$ , materiale rivetto PE 50.

**Risultato:** AN 426 —  $\text{Ø}4,8 \times 10$  — PERALUMAN 50;  $A = 13 \text{ mm}$ ,  $p = 32 \text{ mm}$ .

**Esercizio 8. AN 426 (testa svasata imbutita  $100^\circ$ ), fila singola, bordo d'attacco.**

$t_1 = 0,8 \text{ mm}$ ,  $t_2 = 1,2 \text{ mm}$ , materiale rivetto AV 22.

**Risultato:** AN 426 —  $\text{Ø}3,2 \times 7$  — AVIONAL 22;  $A = 9 \text{ mm}$ ,  $p = 16 \text{ mm}$ .

**Esercizio 9. AN 426 (testa svasata imbutita  $100^\circ$ ), fila singola, bordo d'attacco.**

$t_1 = 0,6 \text{ mm}$ ,  $t_2 = 0,8 \text{ mm}$ , materiale rivetto AV 22.

**Risultato:** AN 426 —  $\text{Ø}2,4 \times 5$  — AVIONAL 22;  $A = 7 \text{ mm}$ ,  $p = 12 \text{ mm}$ .

**Esercizio 10. AN 426 (testa svasata imbutita  $100^\circ$ ), fila singola, bordo d'attacco.**

$t_1 = 1,8 \text{ mm}$ ,  $t_2 = 2,0 \text{ mm}$ , materiale rivetto AV 24.

**Risultato:** AN 426 —  $\text{Ø}6,4 \times 14$  — AVIONAL 24;  $A = 16 \text{ mm}$ ,  $p = 32 \text{ mm}$ .