

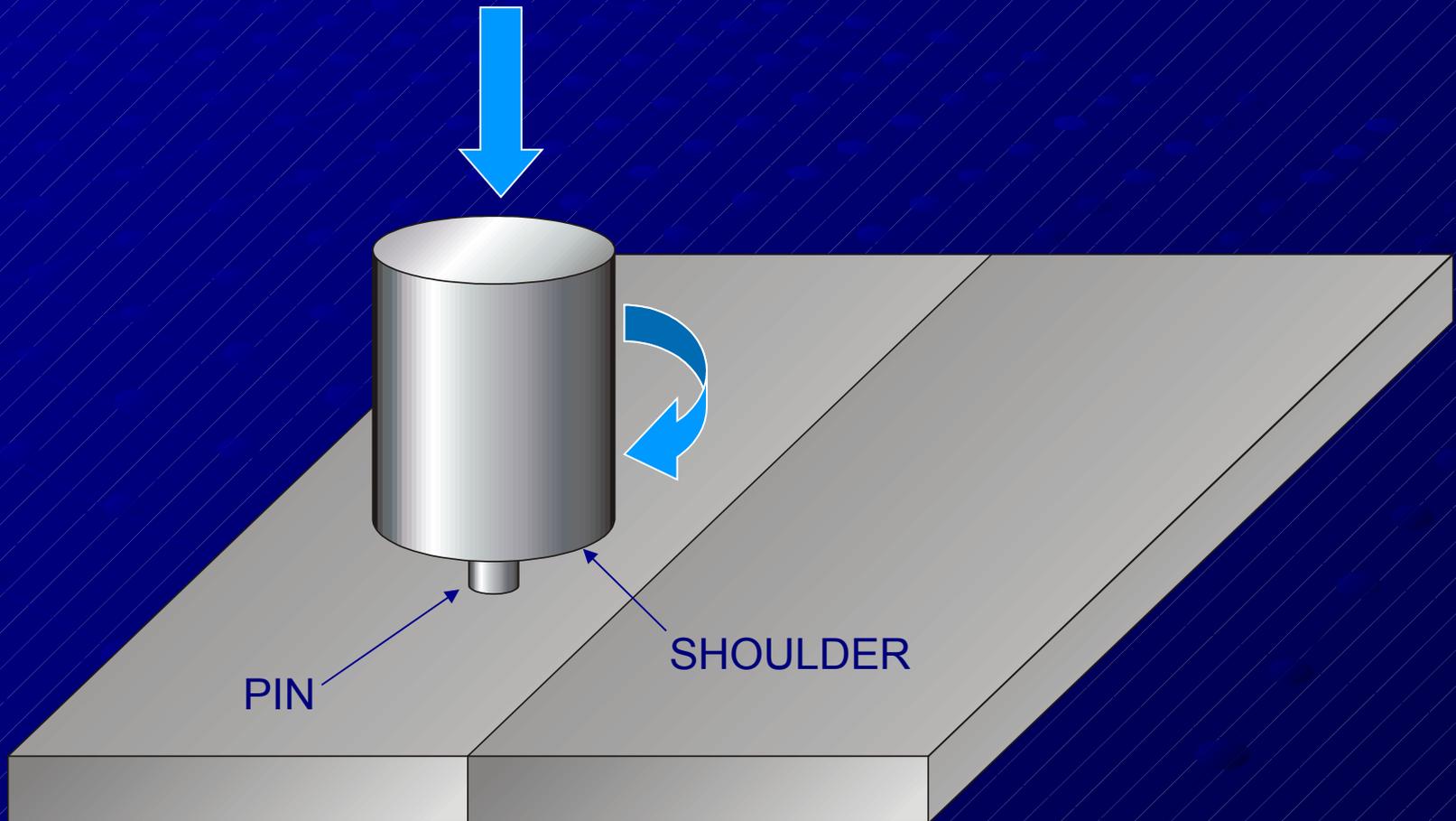
# Il processo di Friction Stir Welding

---

# Fasi di saldatura

---

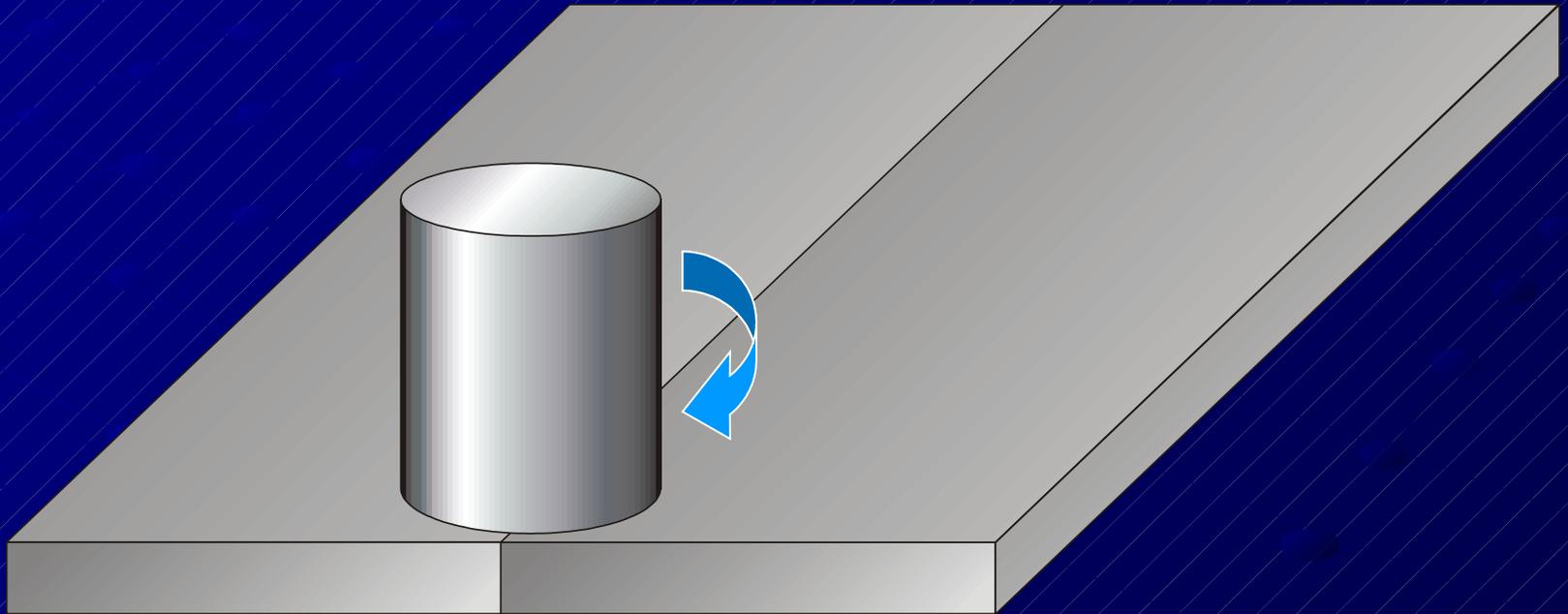
## 1) Avvicinamento



# Fasi di saldatura

---

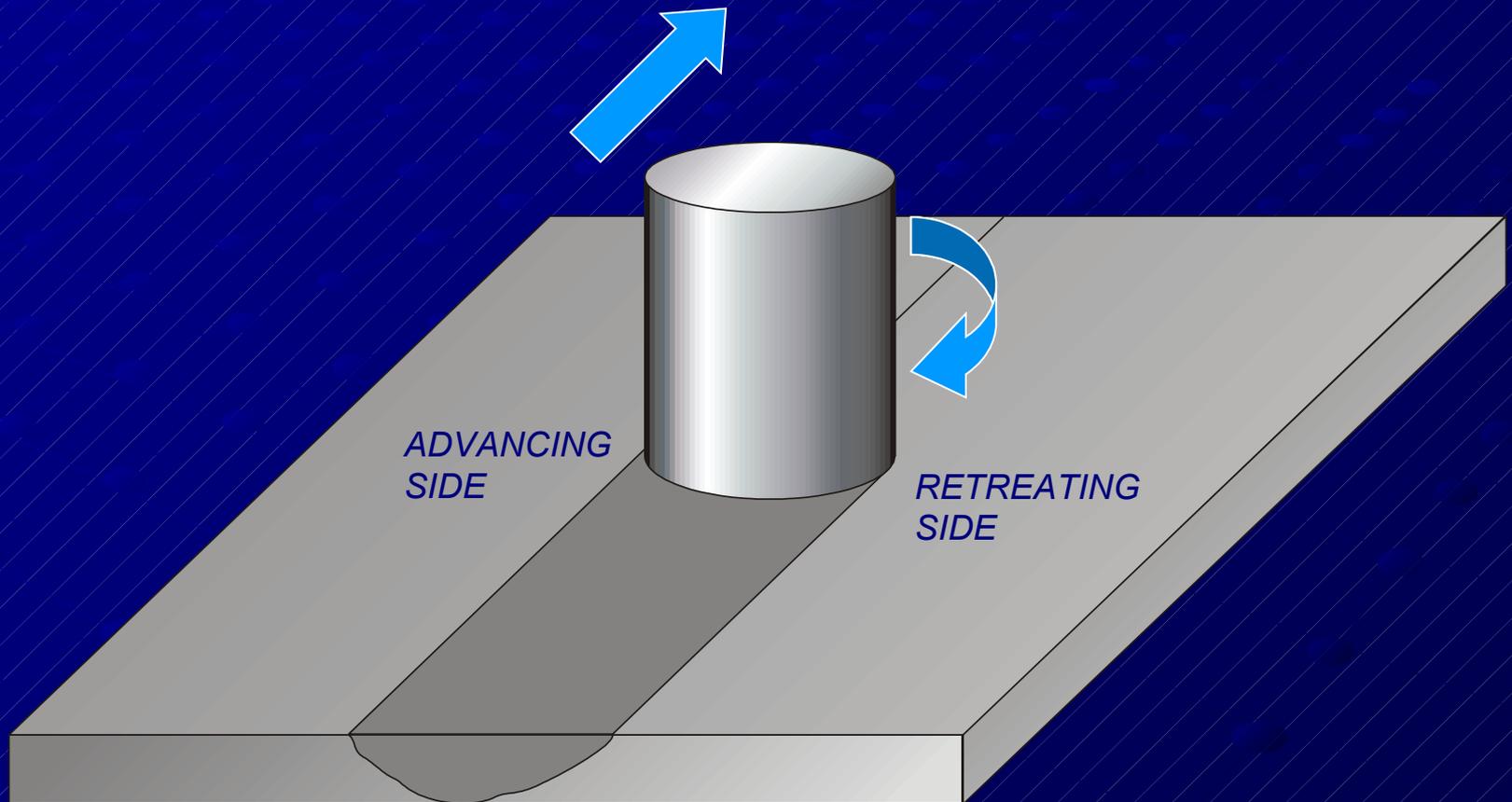
## 2) Penetrazione



# Fasi di saldatura

---

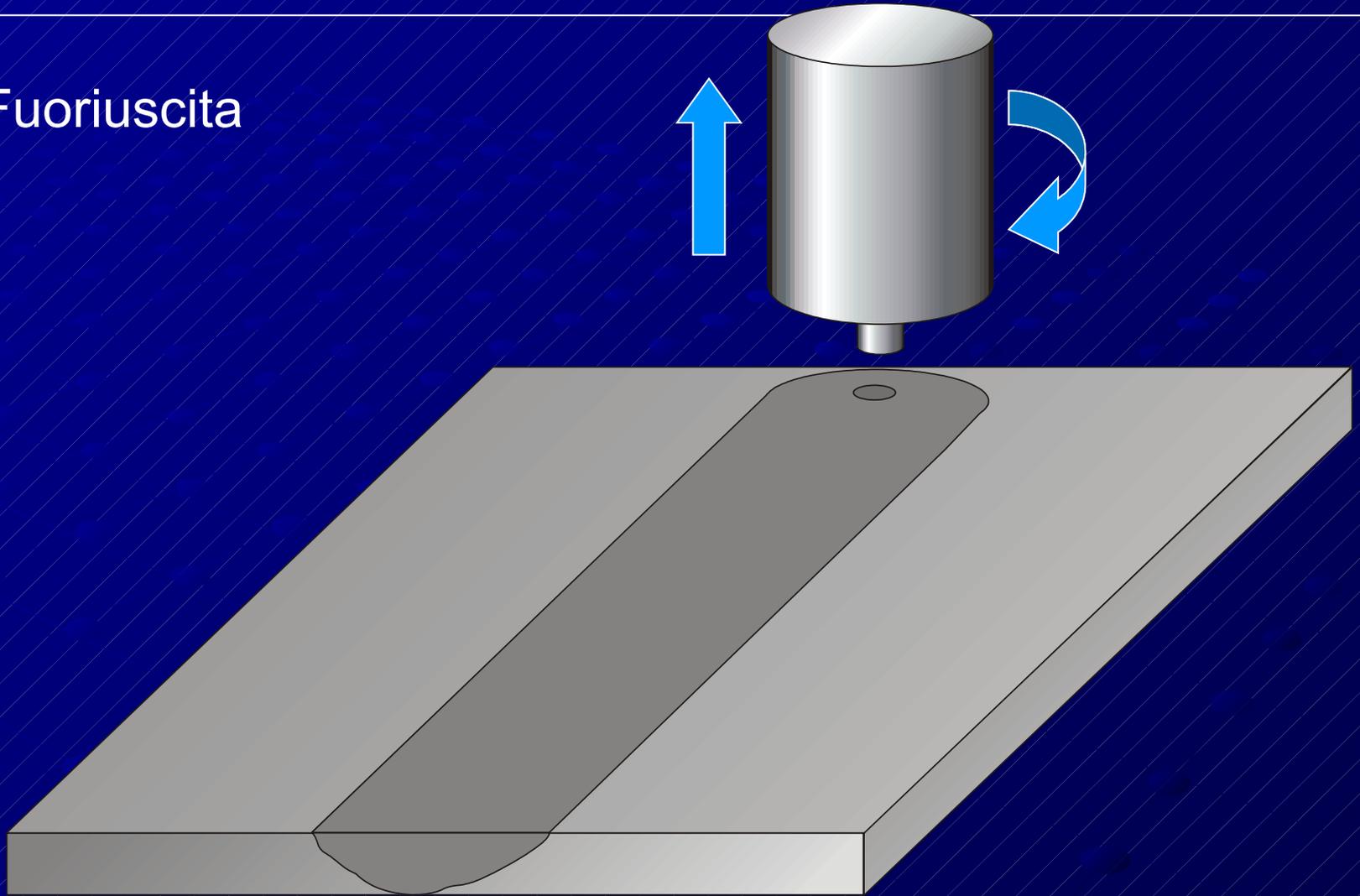
## 3) Avanzamento



# Fasi di saldatura

---

4) Fuoriuscita



# Microstruttura del giunto saldato



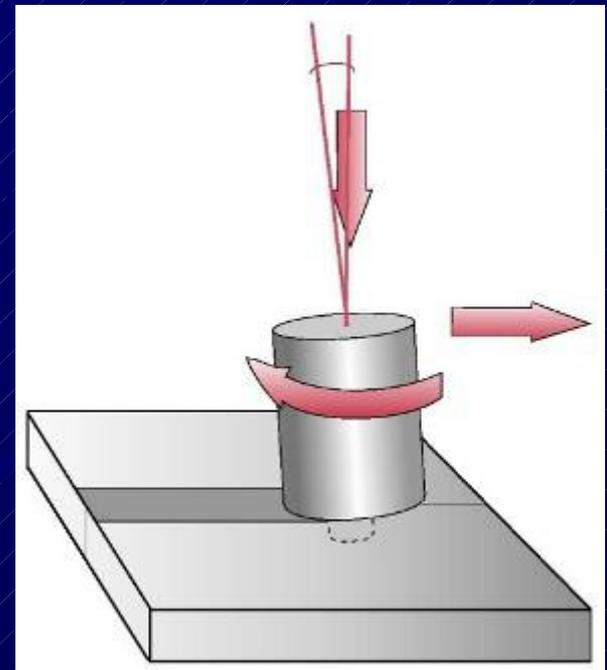
HAZ: *Heat Affected Zone*

TMAZ: *Termo Mechanically Affected Zone*

# Parametri di processo

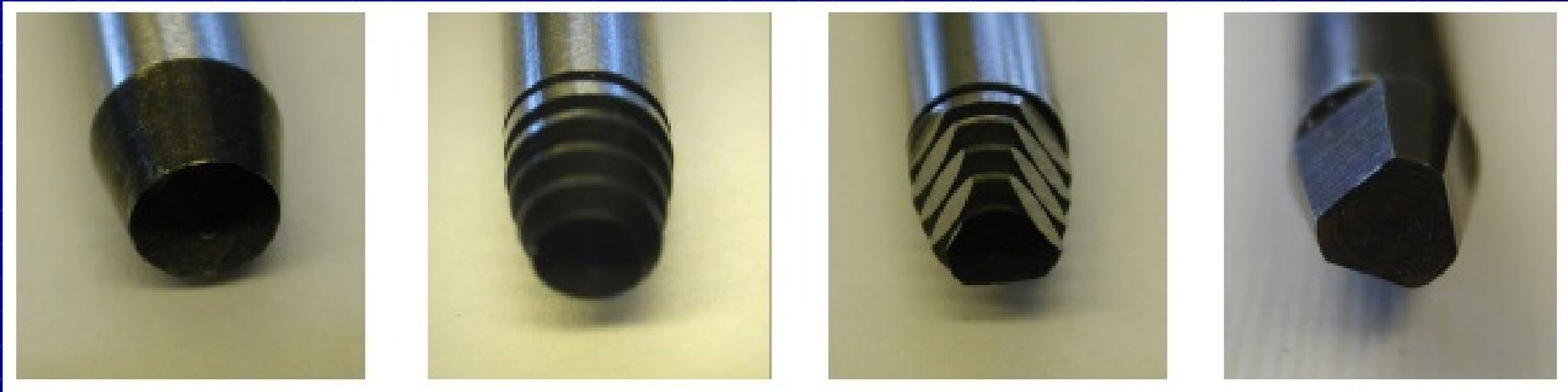
---

- Velocità di rotazione  $n$  [giri/min]
- Velocità di avanzamento  $v_a$  [mm/min]
- Weld Pitch  $WP = n/v_a$  [giri/mm]
- Pressione dell'utensile
- Angolo di *tilt*
- Geometria dell'utensile...



# Geometria degli utensili: PIN

---



# Geometria degli utensili: SHOULDER

---



# Vantaggi della FSW

---

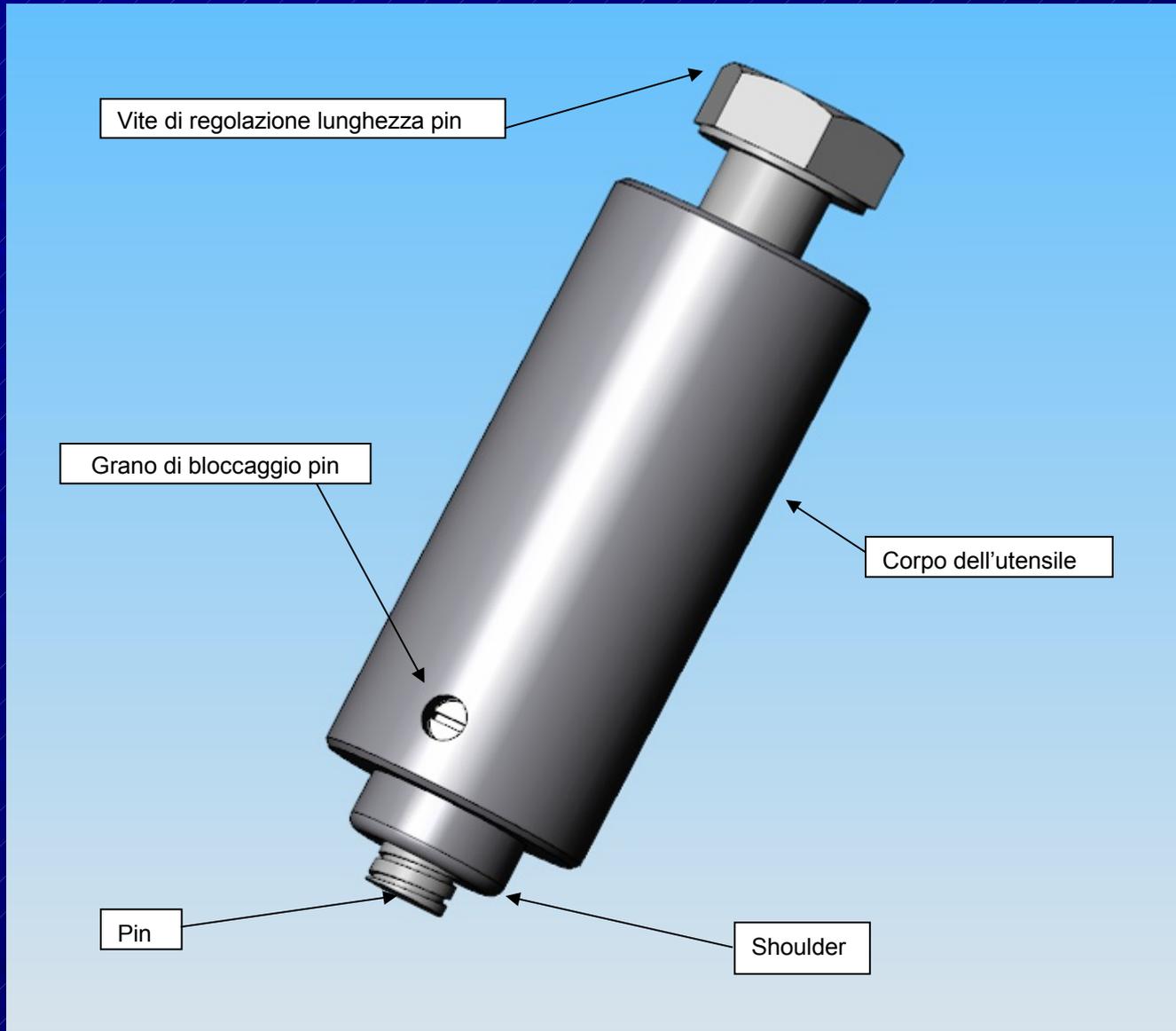
- Nessuna preparazione del giunto da saldare;
- Non c'è fusione del materiale;
- Non richiede un ambiente inerte;
- Possibilità di saldare leghe tradizionalmente “non saldabili” (es. alluminio serie 7xxx);
- Processo automatizzabile;
- Maggior sicurezza per l'operatore;

# Svantaggi della FSW

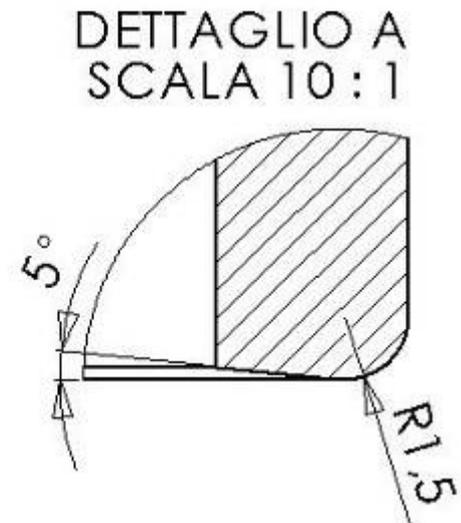
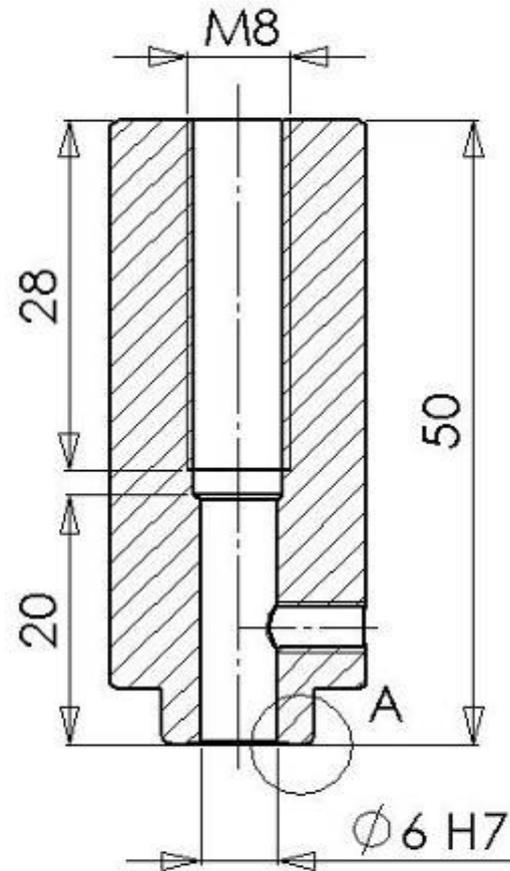
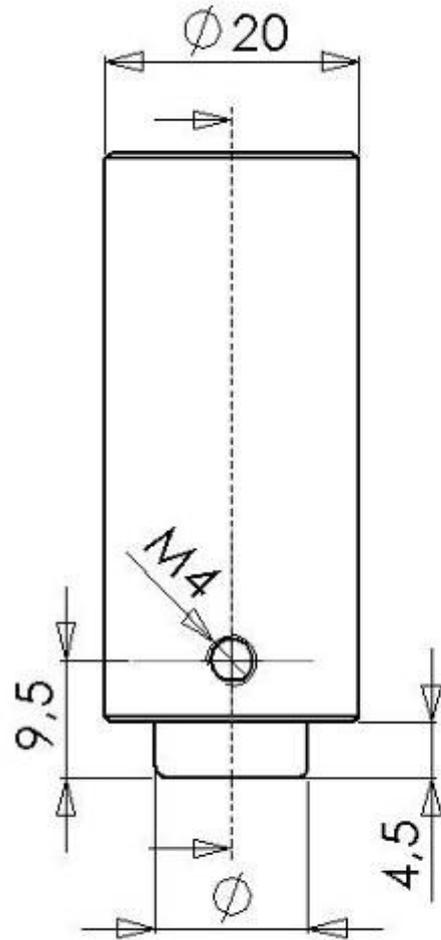
---

- Basse velocità di saldatura;
- Le operazioni preliminari di staffaggio dei pezzi possono essere complicate;
- Problemi nel caso di saldature non lineari;
- Foro di uscita del pin.

# Utensile per saldatura



# Utensile per saldatura



# Prove di saldatura

---

- Configurazioni dell'utensile:



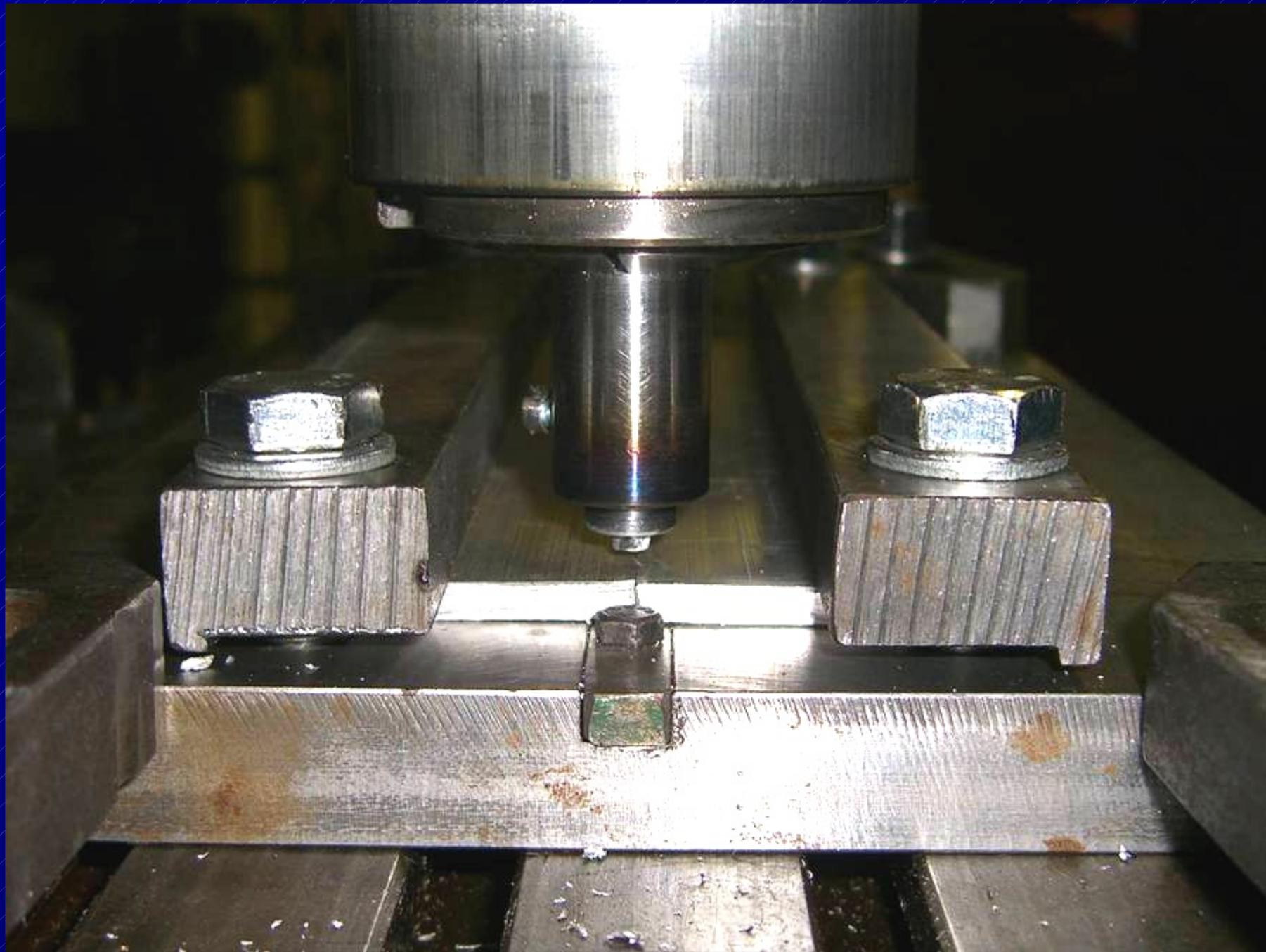
# Prove di saldatura

---

● Materiale saldato: AA 6065-T5 in lastre da (50x250x5 mm);

● Parametri di saldatura:

Prova numero	Utensile	V rotazione giri/min	V avanzamento mm/min	WP	Angolo di tilt
04	A	1000	200	5	0,5°
05	B	1000	200	5	0,5°
06	A	1600	315	5	0,5°
07	A	2000	400	5	0,5°
08	B	2000	400	5	0,5°
09	B	1600	315	5	0,5°



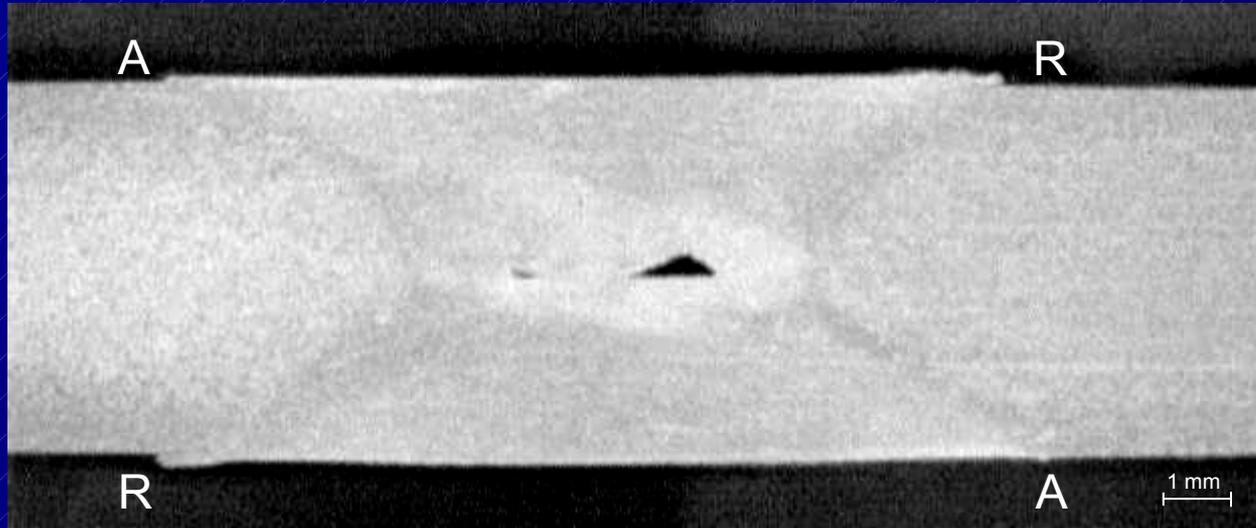


# Aspetto superficiale del giunto

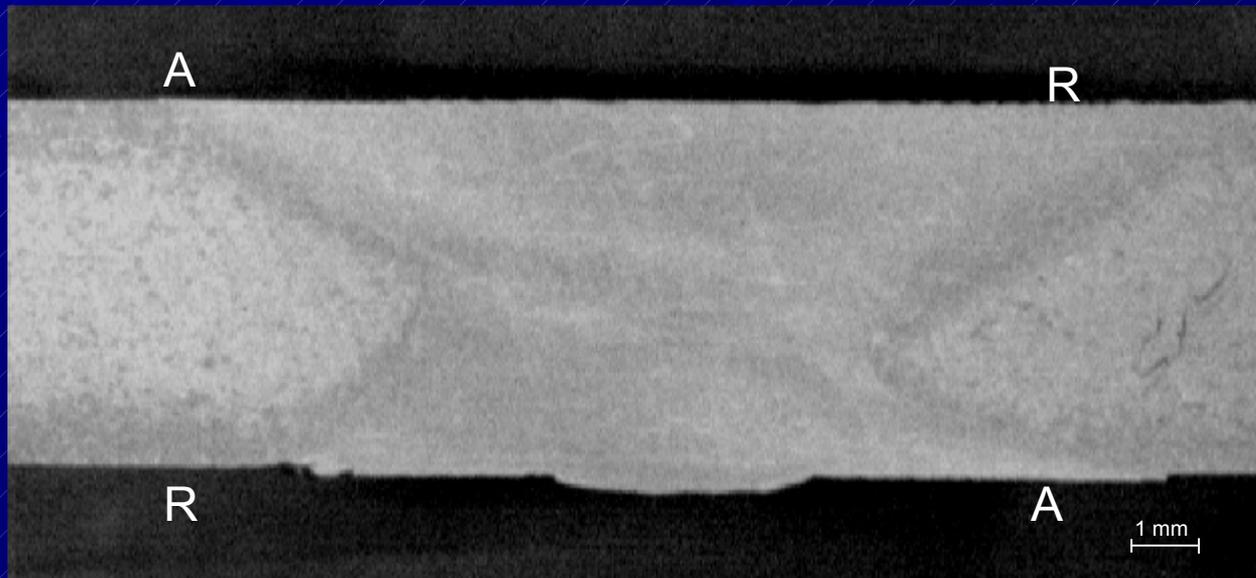
---



# Macrografie

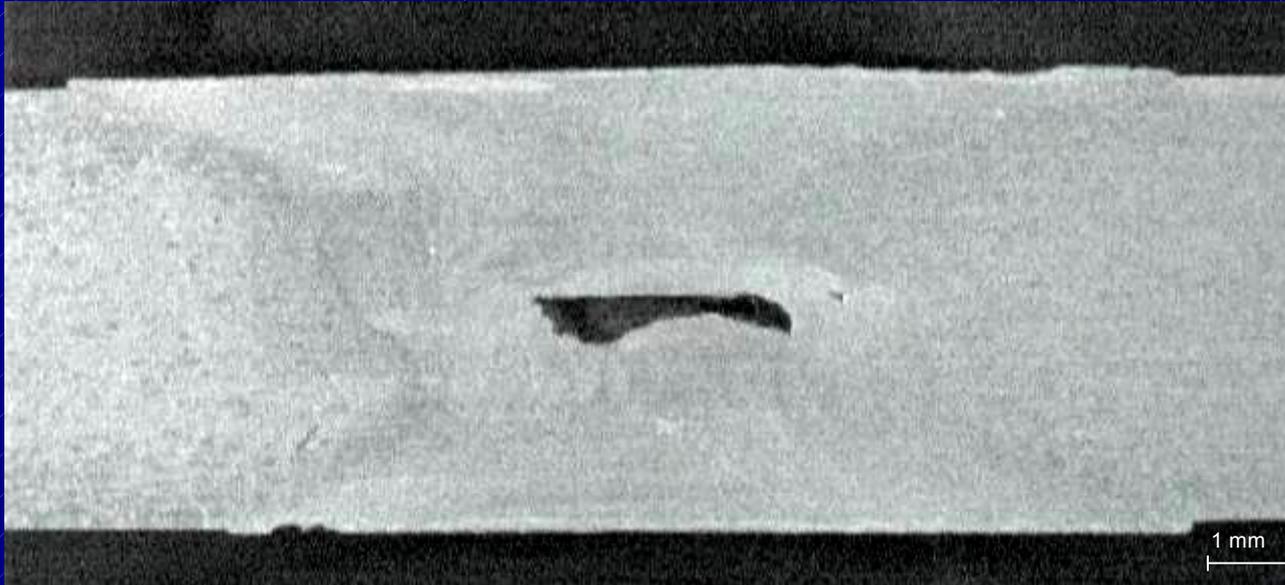


Utensile A  
1000 rpm  
200 mm/min

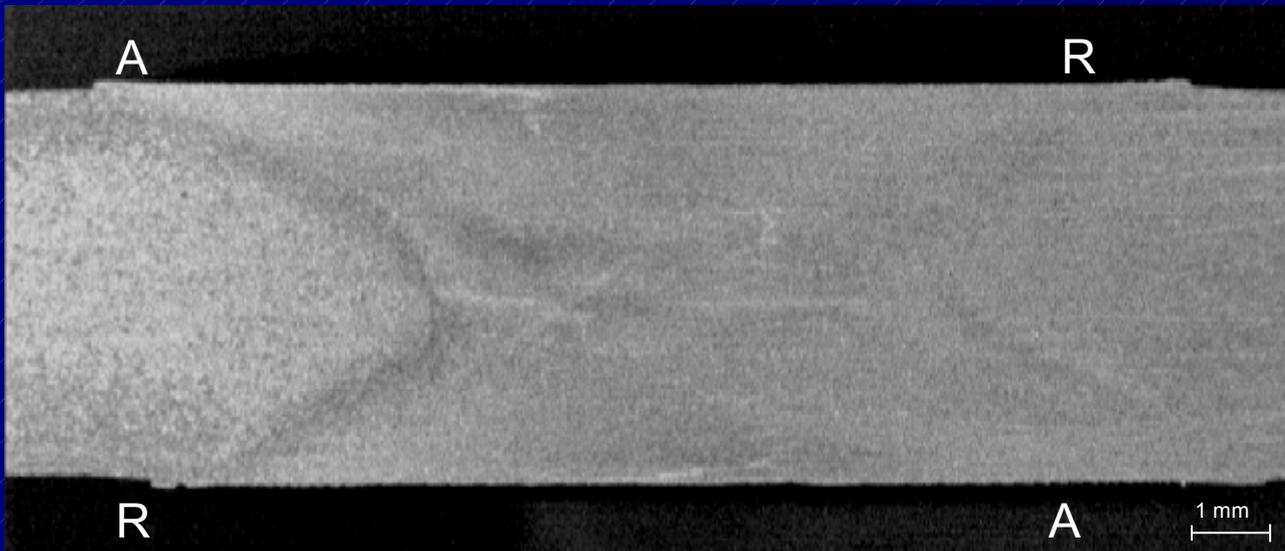


Utensile B  
1000 rpm  
200 mm/min

# Macrografie



Utensile A  
2000 rpm  
400 mm/min



Utensile B  
2000 rpm  
400 mm/min

# Macrografie

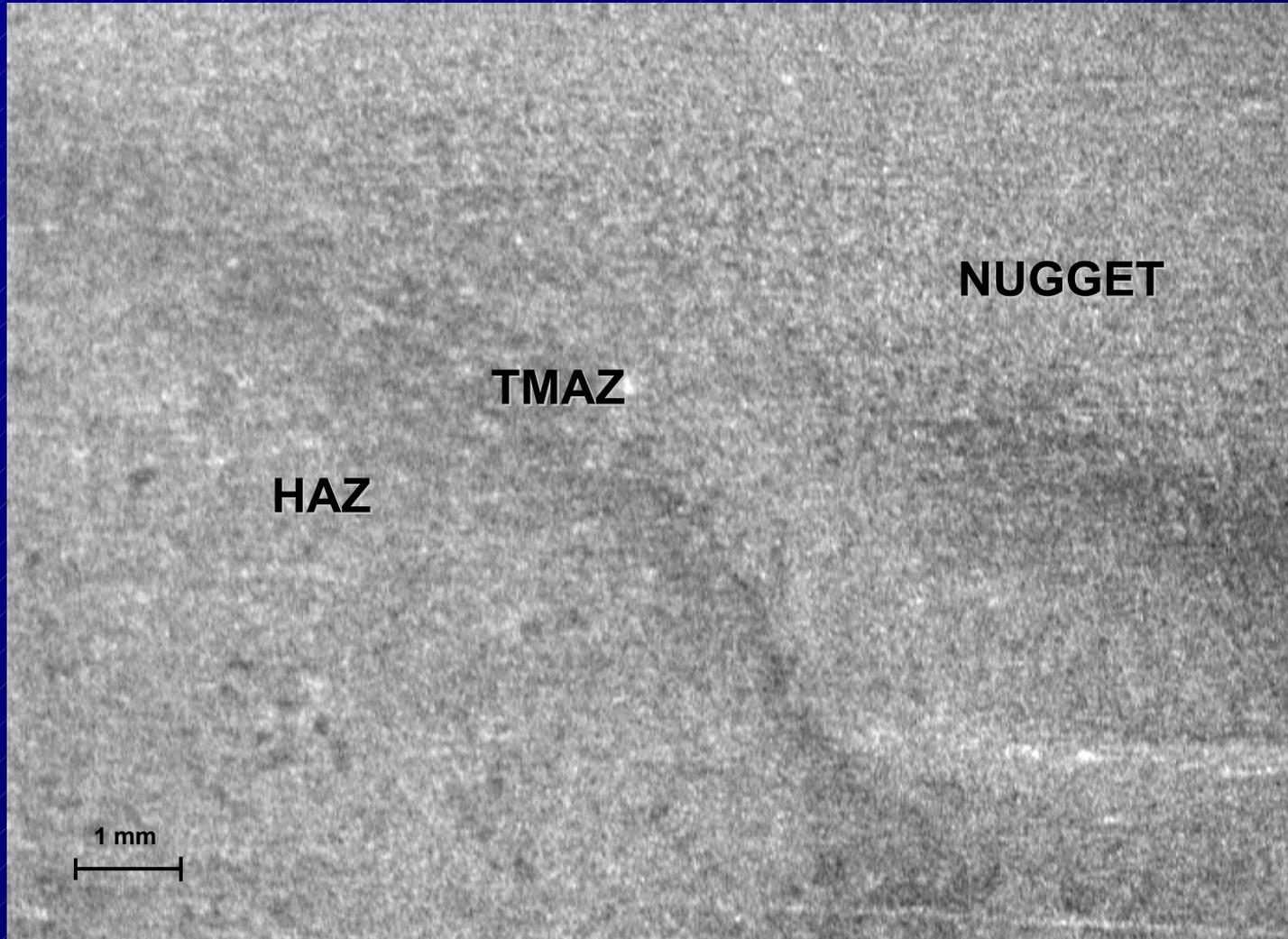
---



Utensile "A", 2000 rpm, 400 mm/min

# Macrografie

---

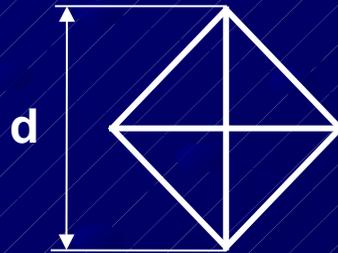


Utensile "B", 2000 rpm, 400 mm/min

# Prove di microdurezza

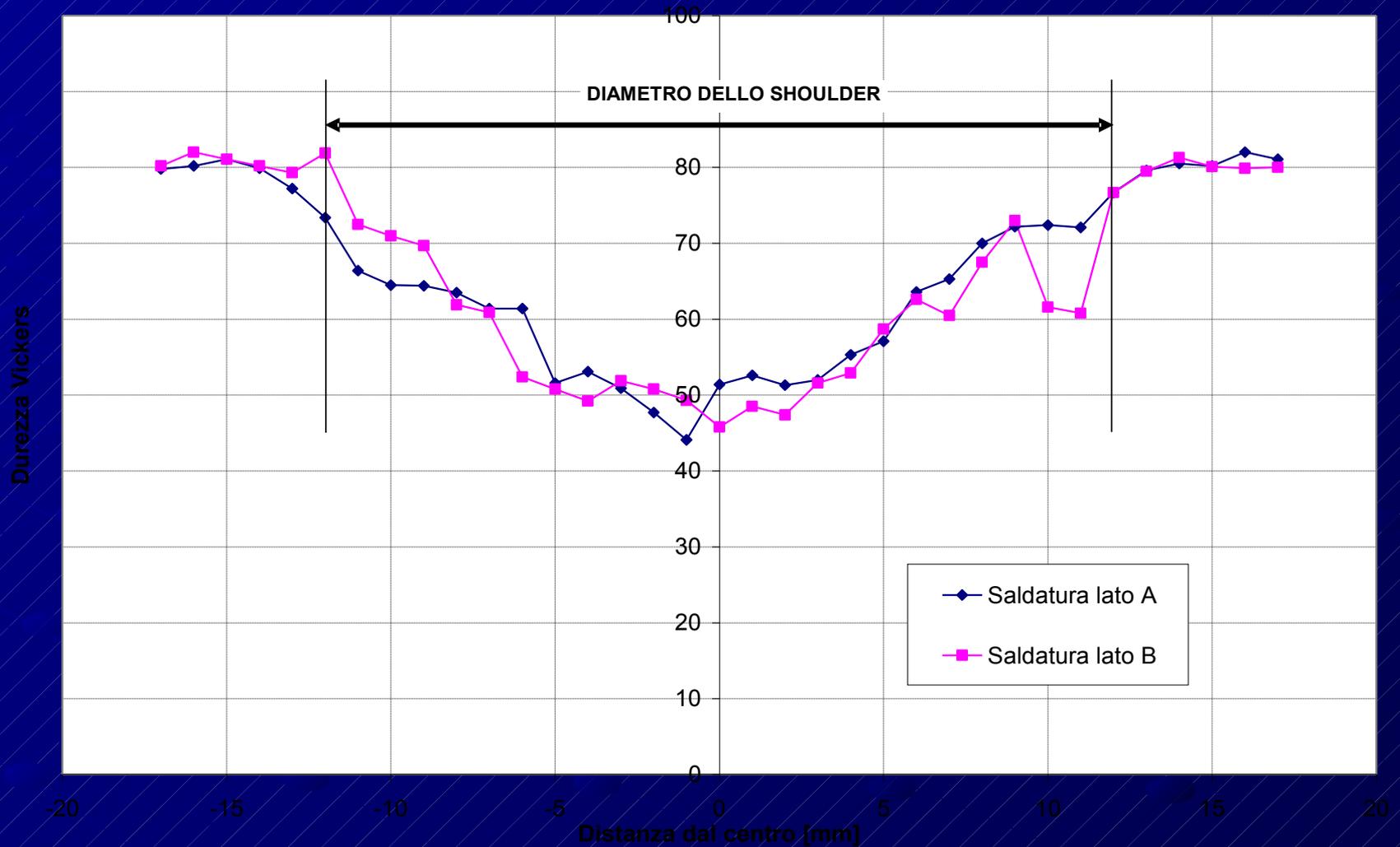
- Prove di microdurezza Vickers (UNI-ISO 4615)
- Durometro *Leica VMHT MOT*
- Carico applicato:  $F = 0,254 \text{ N}$
- Tempo di applicazione 15"

$$HV = 1,854 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,102 \cdot F}{d^2}$$



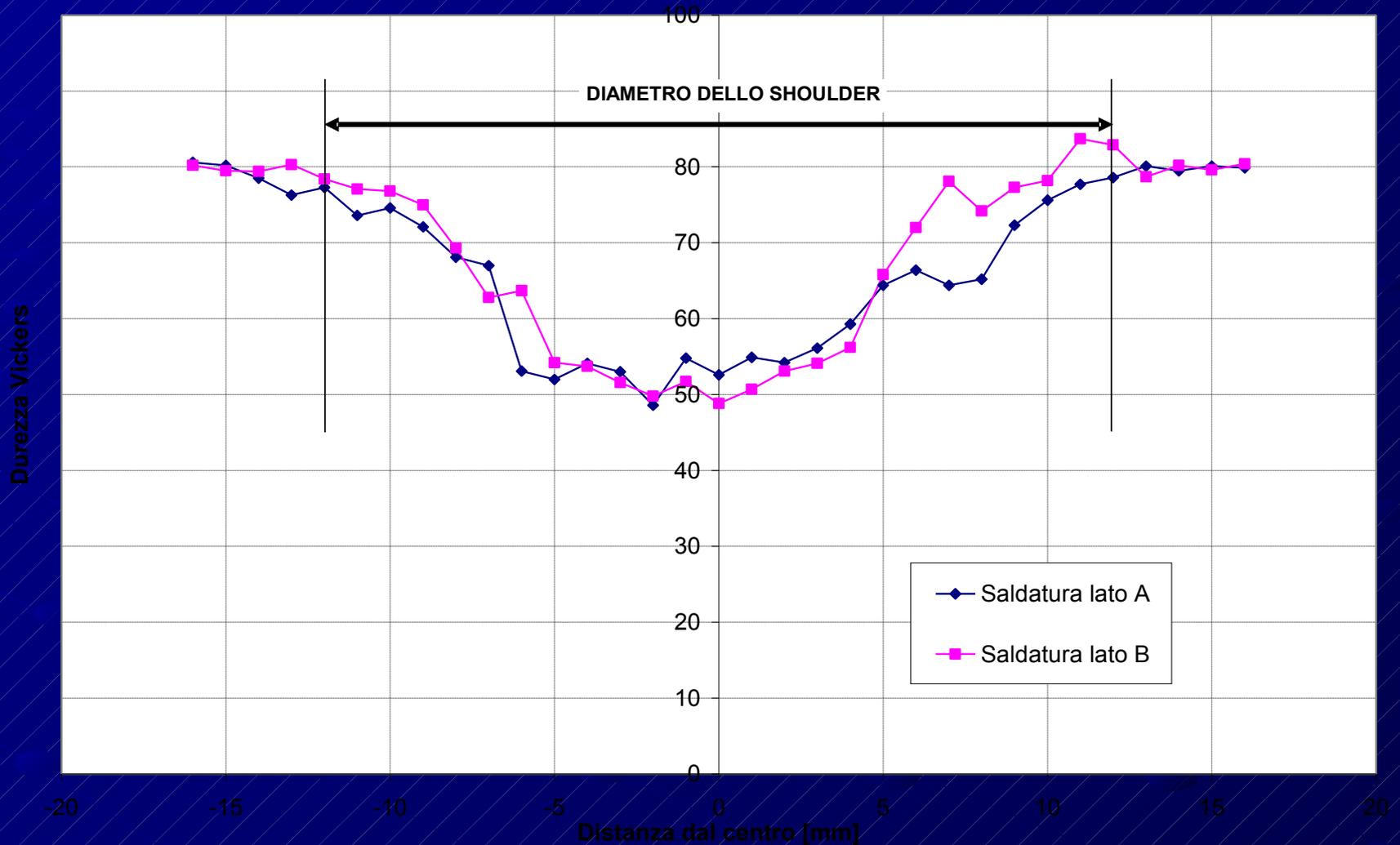
- Durezza metallo-base: 80 HV

# Prove di microdurezza



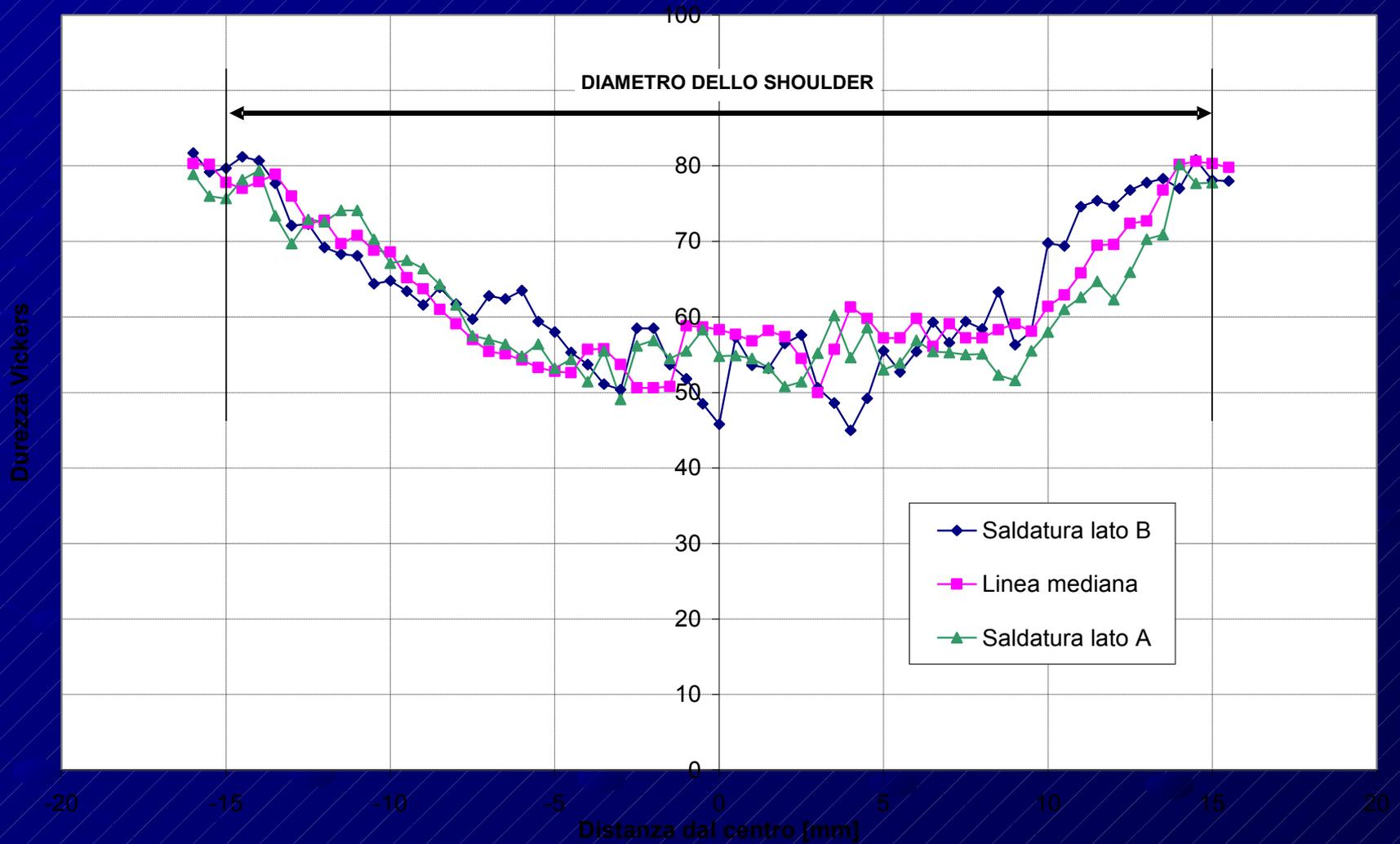
Profilo di microdurezza per la saldatura 04: tool "A", 1000 rpm, 200 mm/min

# Prove di microdurezza



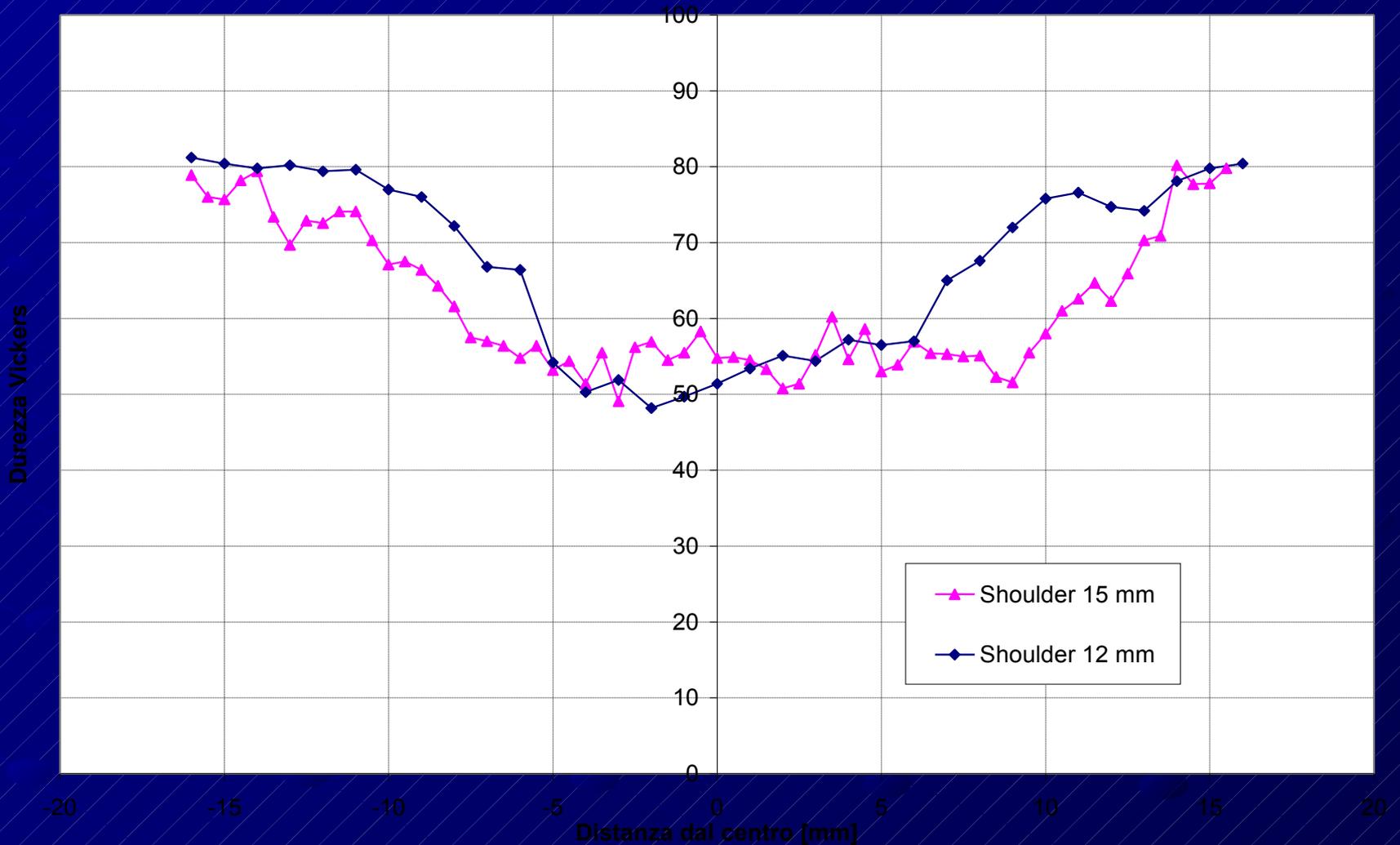
Profilo di microdurezza per la saldatura 07: tool "A", 2000 rpm, 400 mm/min

# Prove di microdurezza



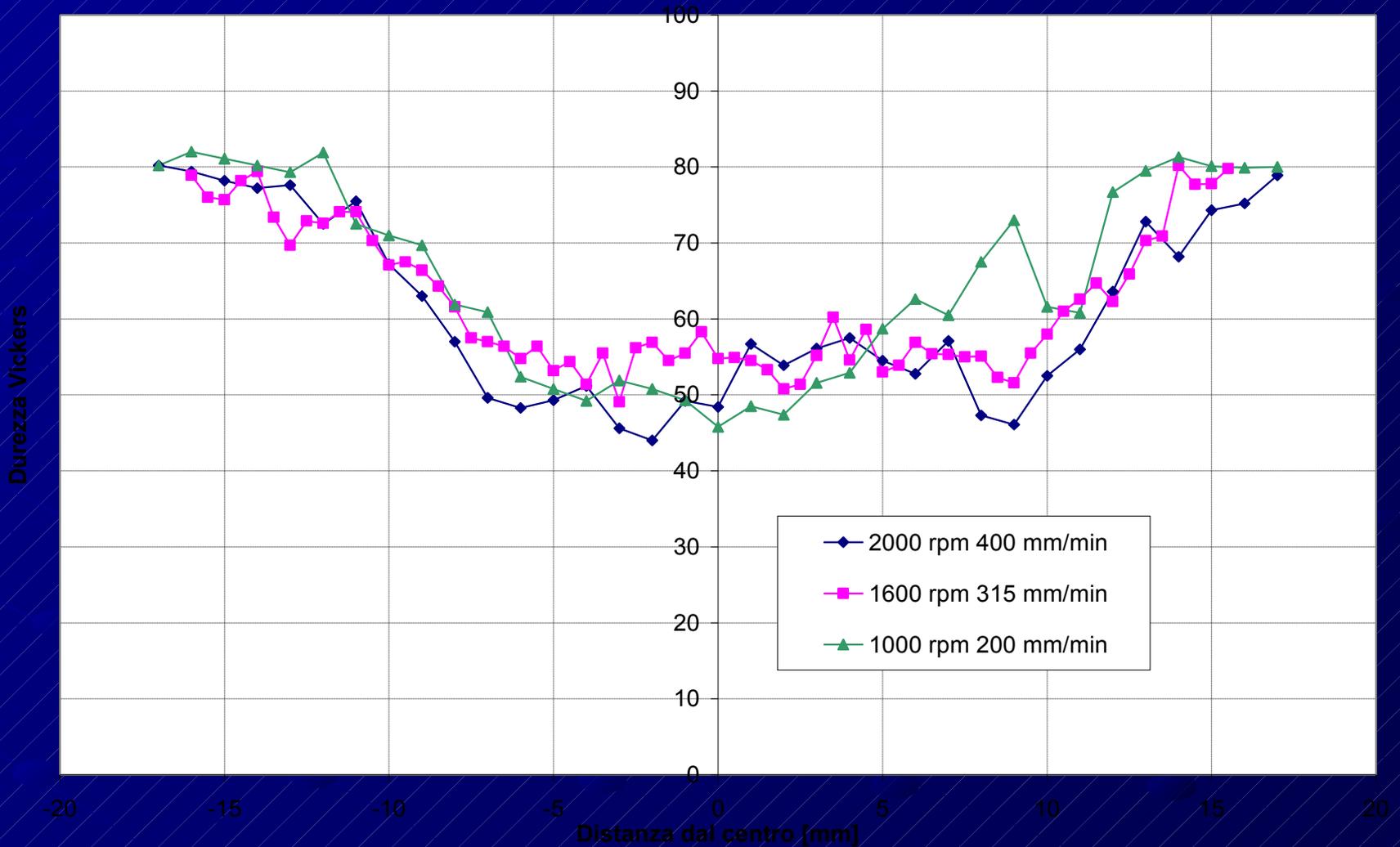
Profilo di microdurezza per la saldatura 09: tool "B", 2000 rpm, 400 mm/min

# Prove di microdurezza



Confronto dei profili di microdurezza al variare del diametro dello shoulder

# Prove di microdurezza



Confronto dei profili di microdurezza per le saldature eseguite con l'utensile "B"

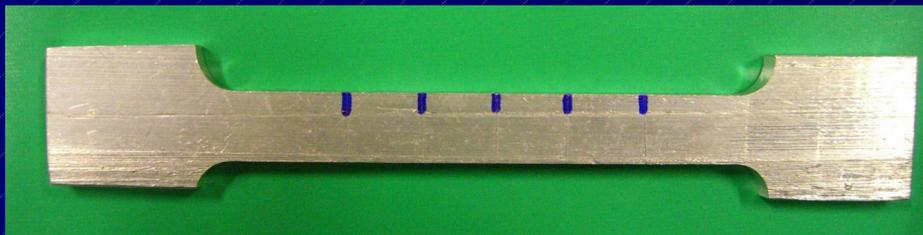
# Prove di microdurezza

---

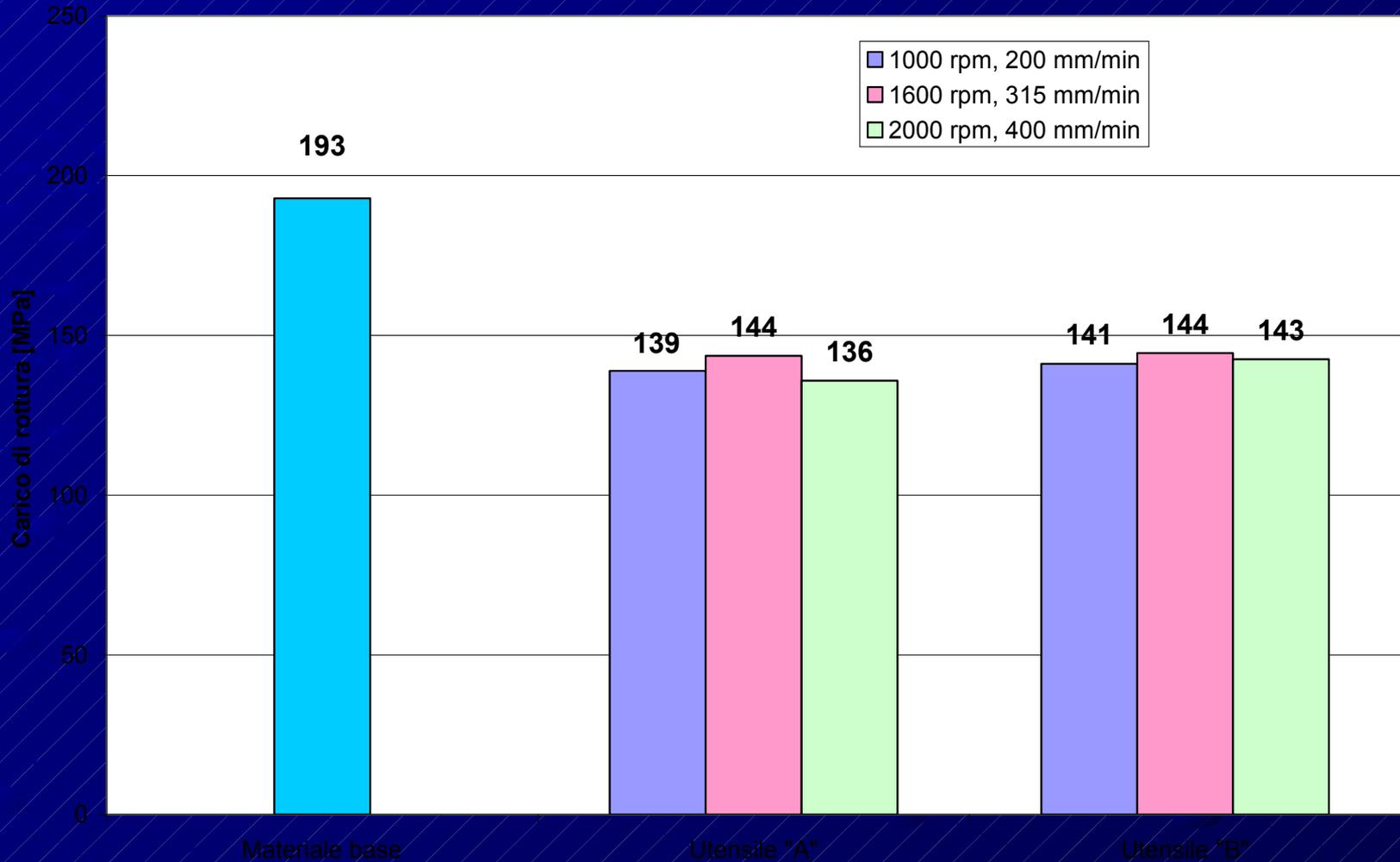
- La saldatura causa una generale diminuzione della durezza nelle zone del nugget, TMAZ e HAZ;
- Nel nugget c'è una riduzione del 50% della durezza rispetto al metallo-base;
- Quanto più è largo lo shoulder, tanto più è estesa la zona a minor durezza;
- Una più elevata velocità di rotazione dell'utensile causa un maggiore calo di durezza.

# Prove di Trazione

- Prove di trazione su provini ricavati da sezioni trasversali della saldatura;
- Macchina per prove: *Shimadzu Autograph2 AG-10TA*;
- Cella di carico *Europe* (max 20 kN);
- Velocità di trazione: 0,06 mm/s.



# Prove di Trazione



Confronto dei valori del carico di rottura tra metallo base e i giunti realizzati

# Prove di Trazione

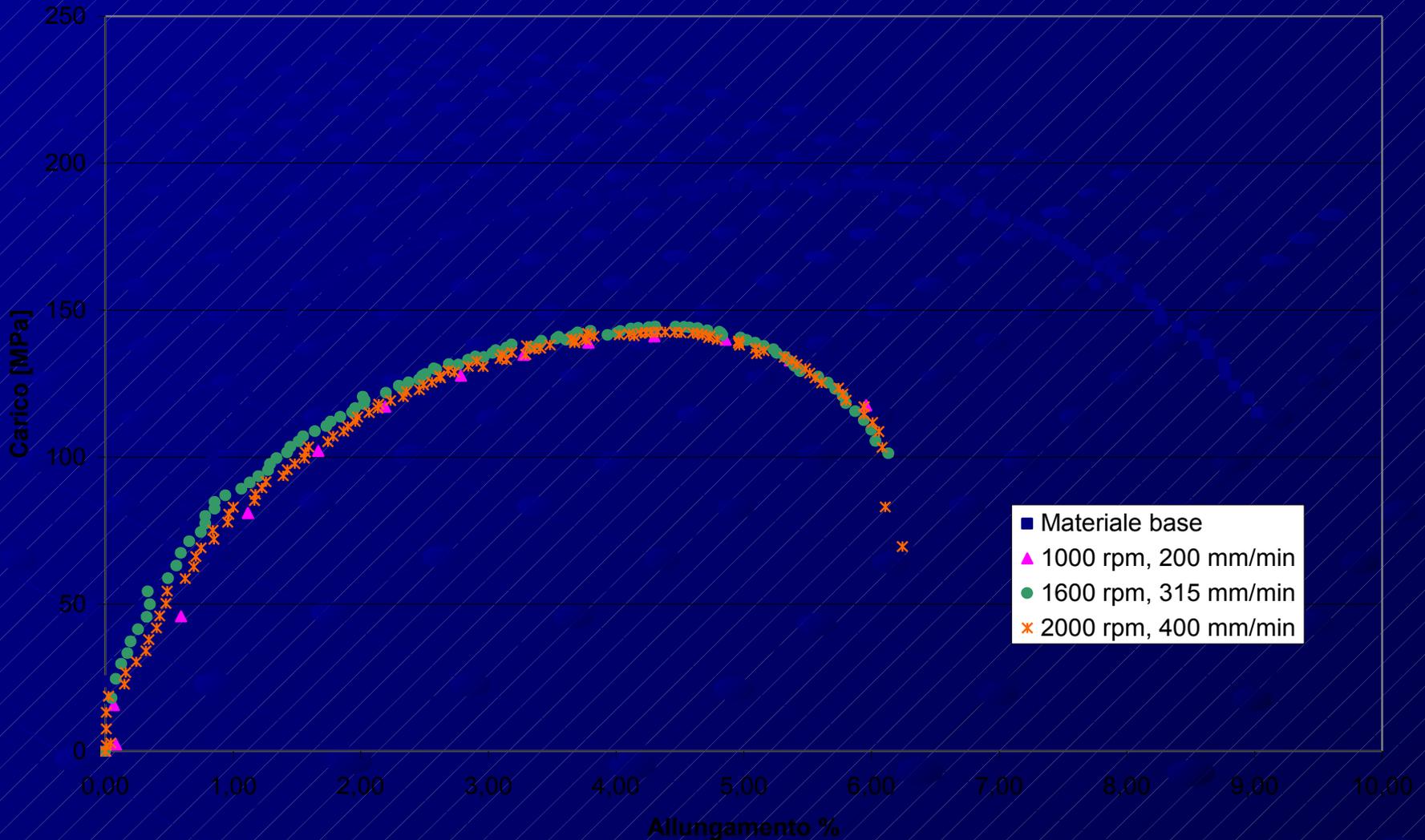


Grafico sforzo-deformazione per le saldature eseguite con l'utensile "B"

# Prove di Trazione

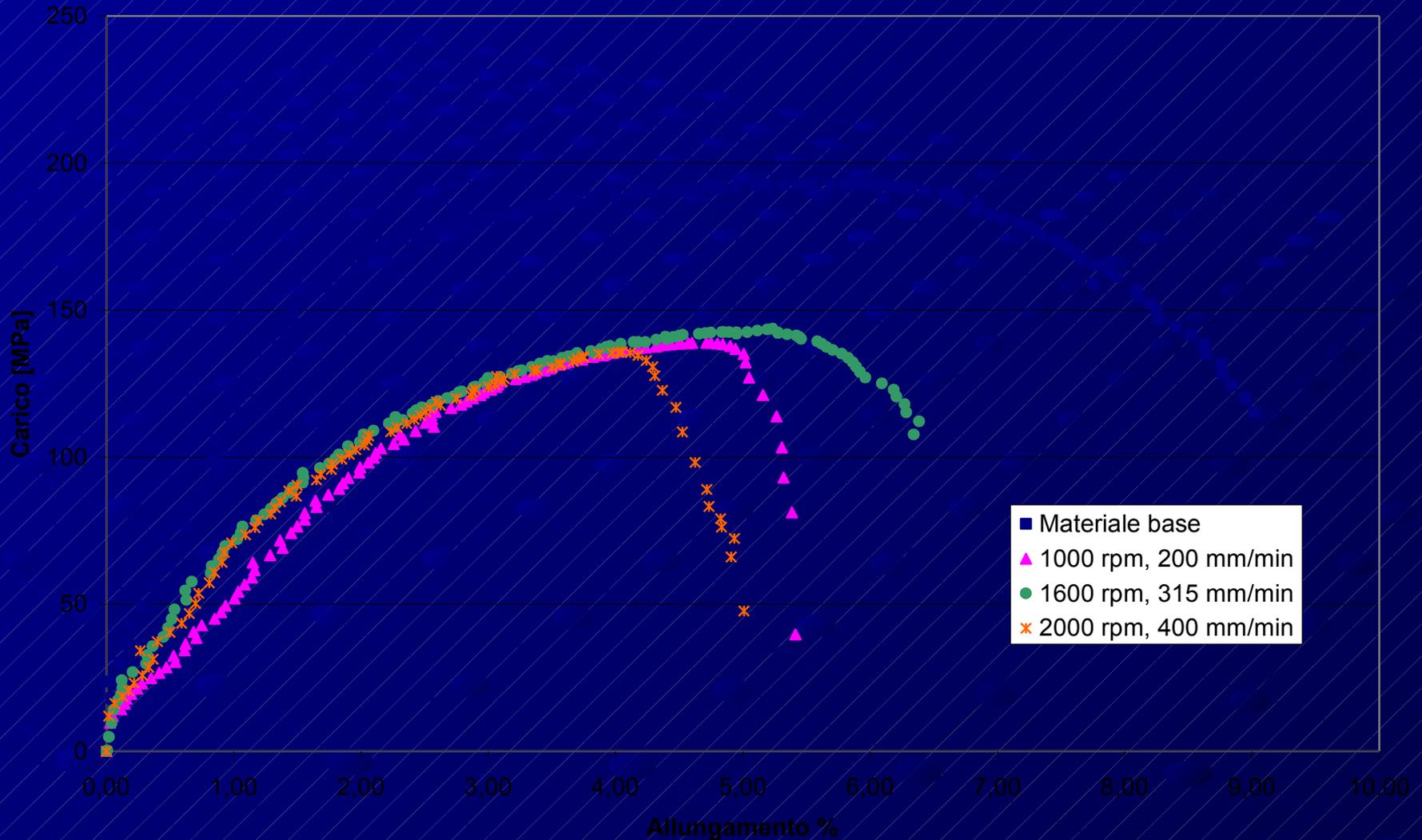


Grafico sforzo-deformazione per le saldature eseguite con l'utensile "A"

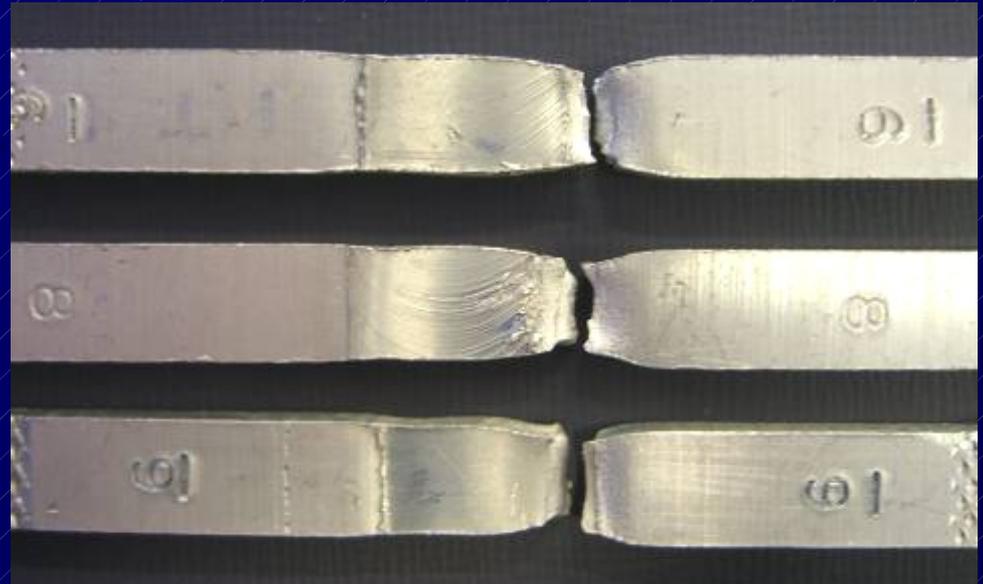
# Prove di Trazione

---



I provini che presentavano un foro, si sono rotti al centro della saldatura.

I rimanenti provini si sono rotti in corrispondenza dell'interfaccia tra metallo-base e saldato.



# Conclusioni

---



FINE