ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# Applicazioni laser per il settore E-Mobility: stato dell'arte e prospettive

**Prof. Alessandro Fortunato**

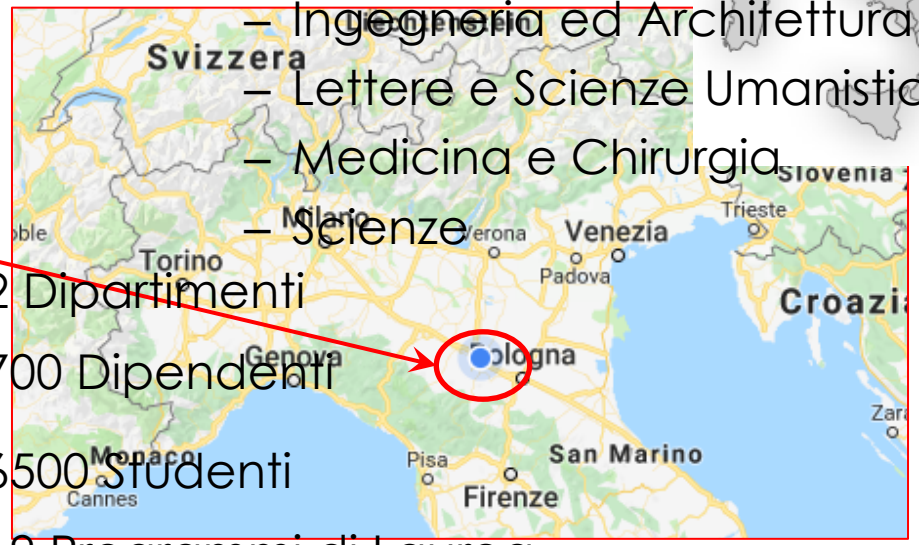
Professore Associato in Tecnologie e Sistemi di Lavorazione
Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIN)
Università di Bologna

# Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

Fondata nel 1088 è considerata la più antica Università del mondo occidentale

E' organizzata in:

- 5 Campus;
- 5 Scuole:
  - Economia ed Organizzazione Aziendale
  - Ingegneria ed Architettura
  - Lettere e Scienze Umanistiche
  - Medicina e Chirurgia
  - Scienze
- 32 Dipartimenti
- 5700 Dipendenti
- 86500 Studenti
- 219 Programmi di Laurea



# Il Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIN)

DIN è composto da circa 300 persone tra personale Docente, dottorandi di ricerca ed Assegnisti ed è attivo sulle seguenti discipline:

- Aeronautics and aerospace,
- Applied mechanics,
- Design, constructions and metallurgy,
- Manufacturing technology,
- Industrial plants and economics,
- Energy systems,
- Applied physics and nuclear engineering,
- Materials science,
- Industrial bioengineering

- Foundry processes
- Plastic deformation processes
- Composite materials
- Machine tools
- Laser-based manufacturing

GRUPPO LASER
Centre for Advanced Laser Manufacturing

# Organizzazione presentazione

Il laser nei processi di saldatura stato dell'arte e criticità:

- Elettrodi: tipologie di giunti, stato dell'arte e criticità
- Avvolgimenti: tipologie, stato dell'arte e criticità
- *Battery case*: materiali, geometrie, stato dell'arte e criticità

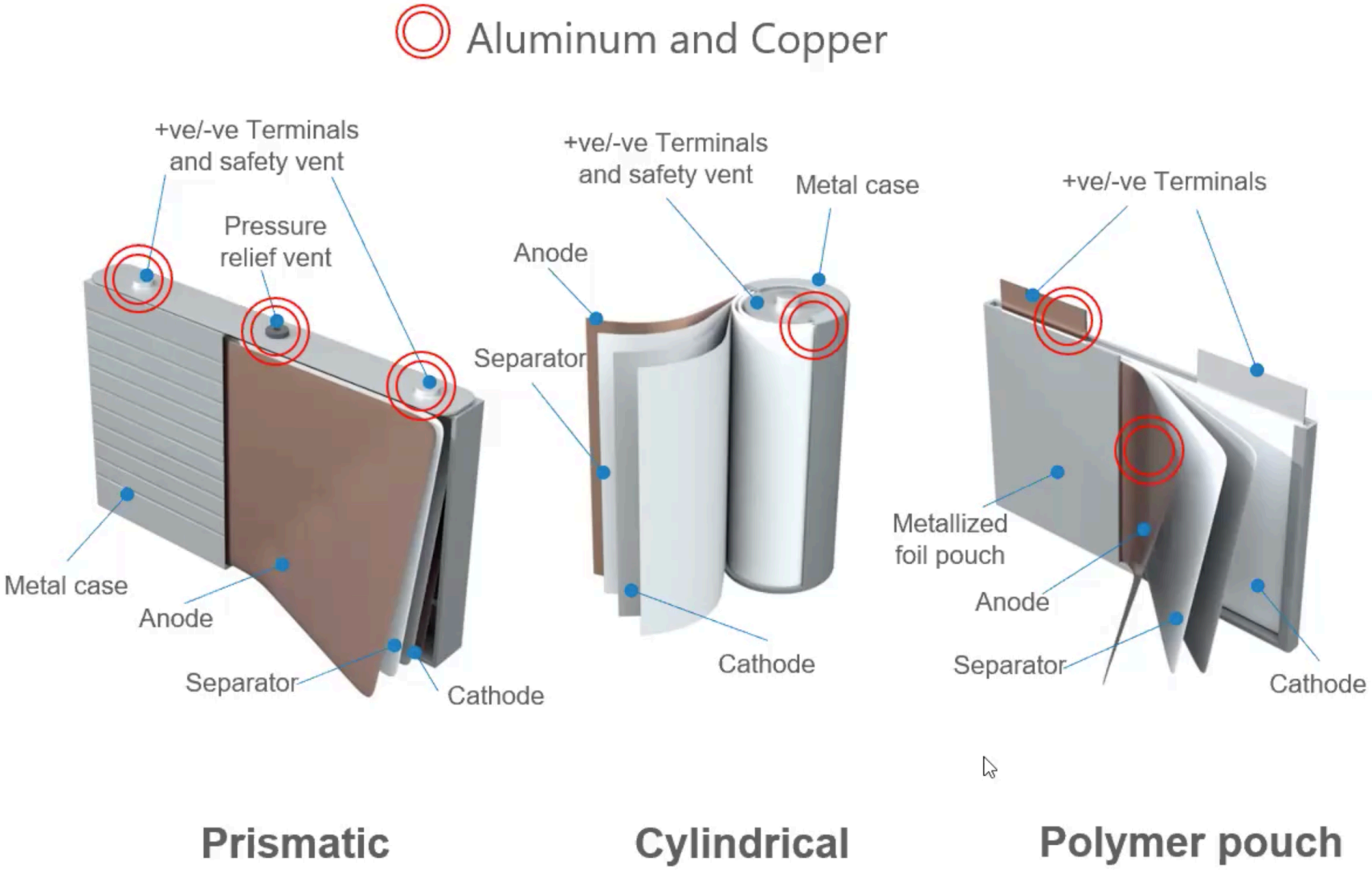
Impianti:

- Tipologie di automazioni
- Componentistica laser utilizzata
- Nuove soluzioni

Conclusioni

# Elettrodi: tipologie di giunti, stato dell’arte e criticità

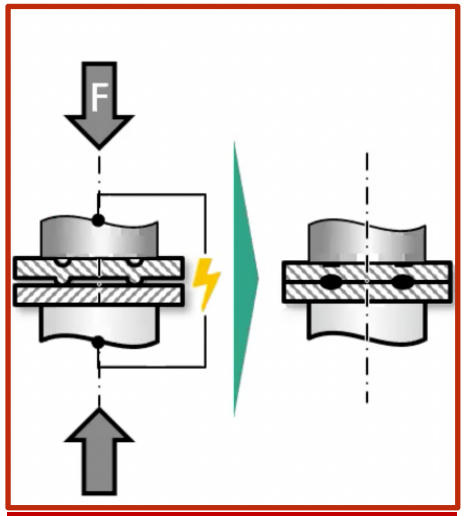
# Geometrie tipiche di batterie*




La saldatura serve per poter «sommare» la corrente proveniente dalle singole batterie in modo da generare complessivamente la potenza necessaria alla trazione

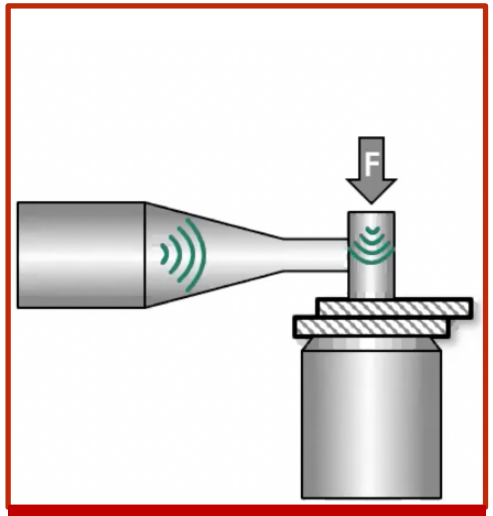
* Da presentazione Coherent

# Perché proprio il laser? Quali processi alternativi potrebbero esserci?



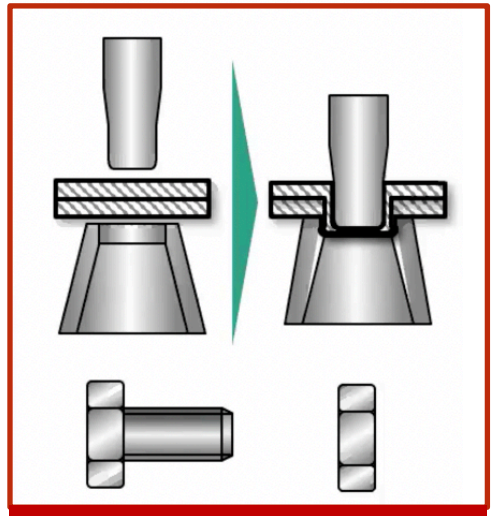

## Saldatura per resistenza

+ semplice
+ basso costo
- cordoni difficili da controllare
- Lento
- Usura utensili



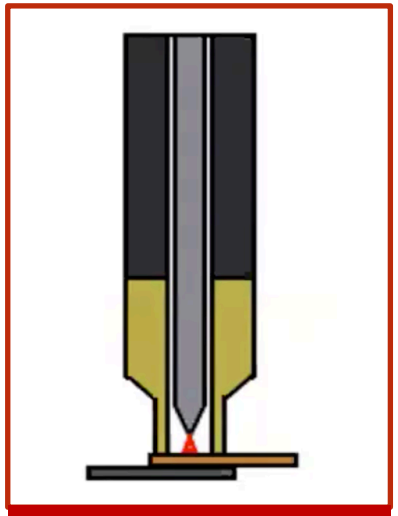

## Saldatura ad ultrasuoni

+ saldatura allo stato solido
+ già in produzione
+ I cordoni sono ri-saldabili
- Lento
- Usura utensili
- Bassa resistenza meccanica filo



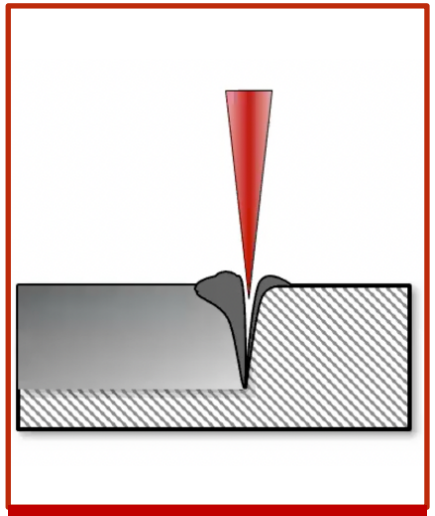
## Collegamento meccanico

+ giunzione allo stato solido
+ economico
- Lento
- Usura utensili



## Micro-TIG

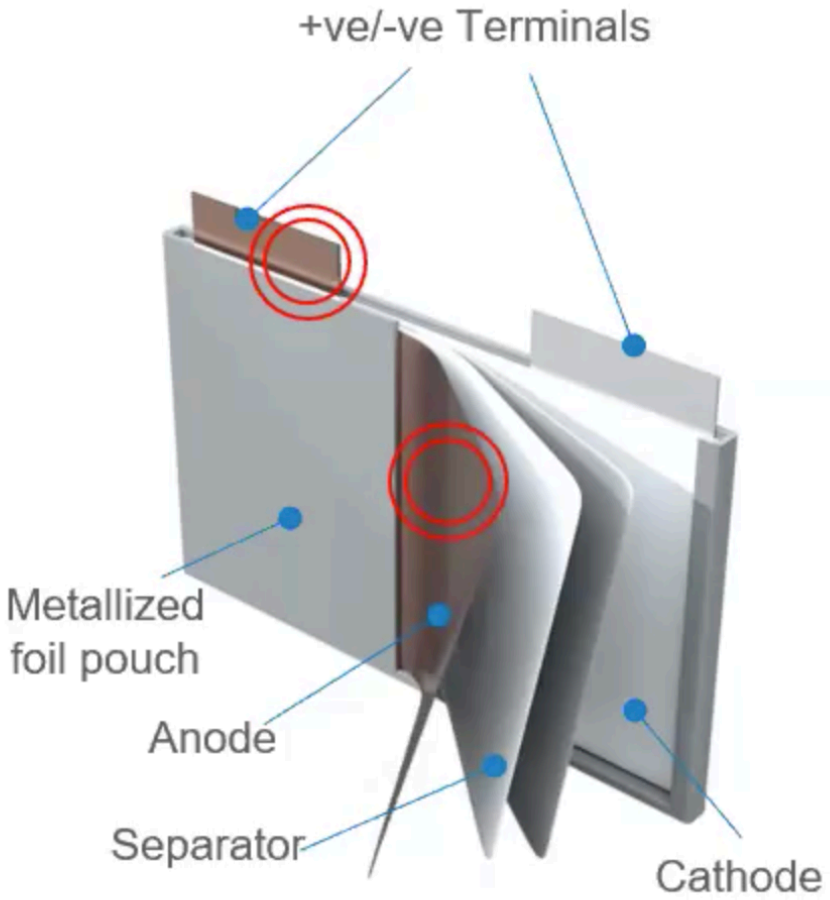
+ semplice
+ basso costo
+ Utile per riparazioni manuali
- cordoni difficili da controllare
- Lento



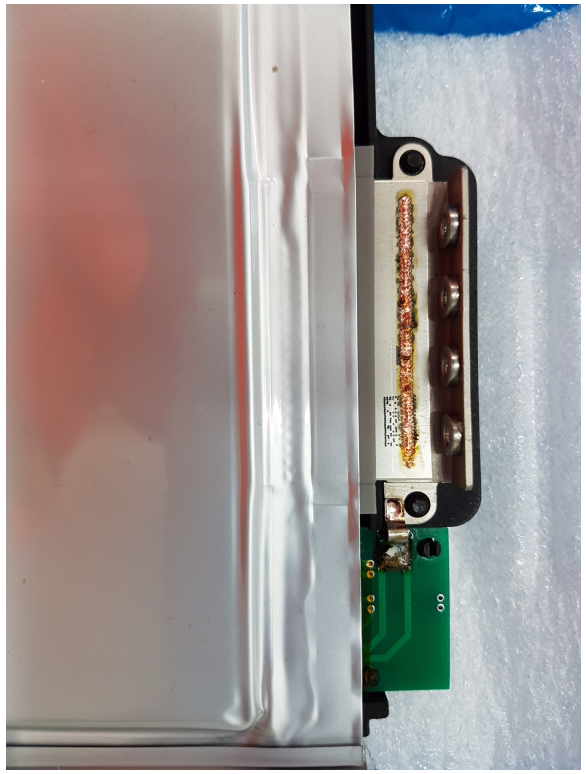
## Laser

+ Giunti senza contatto
+ Altamente automatizzabile
+ Bassa resistenza elettrica
+ Processo estremamente rapido e ripetibile
- Posizionamento preciso
- Monitoraggio complesso
- Materiali «complessi»
- Limitare incremento temperature

# Tipologia «Pouch»



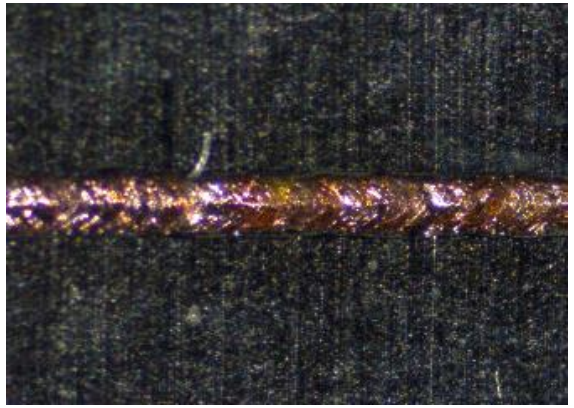

Dispongo 2 elettrodi di 2 *pouch* differenti nella modalità di saldatura per sovrapposizione (Al-Cu oppure Cu-Al)

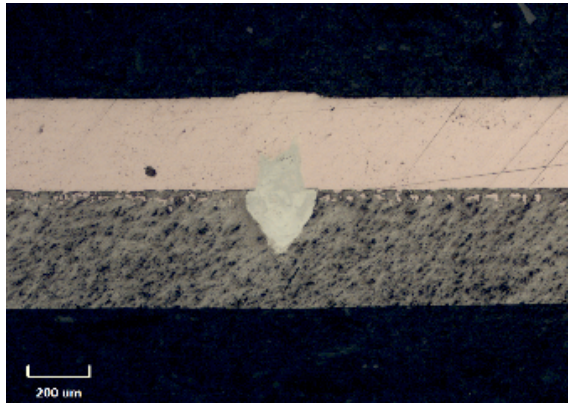


# Tipologia pouch

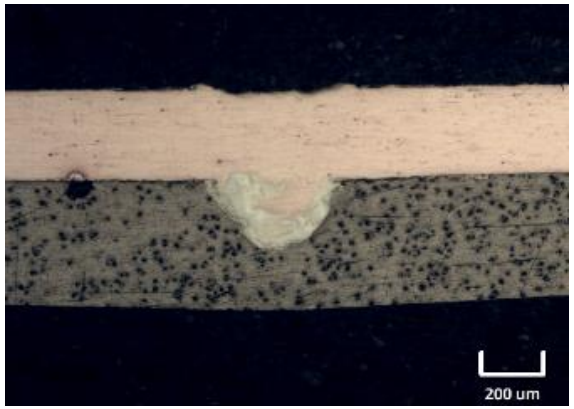
Rame 0,3 mm – Alluminio 0,45 mm

**Focali corte**






**Focali lunghe**




Si vedono 2 setup differenti (2 spot differenti) a dimostrazione che il processo è stabile per diverse configurazioni/esigenze:

- Lavorare in prossimità del cordone-> spot piccoli, maggiori velocità di saldatura ma maggiori problemi di protezione lenti
- Lavorare in «lontananza»-> spot grandi, minori velocità di saldatura ma minori problemi di protezione lenti

**Caratteristiche generali:**

Solitamente Al 1XXX-Cu-nichelato nella configurazione per sovrapposizione

**Performance ottenibili:**

Velocità di processo: dipende dalla configurazione Al-Cu (preferibile) o Cu-Al. Configurazione Al-Cu: 200-400 mm/s

Carichi meccanici: 100-130kg

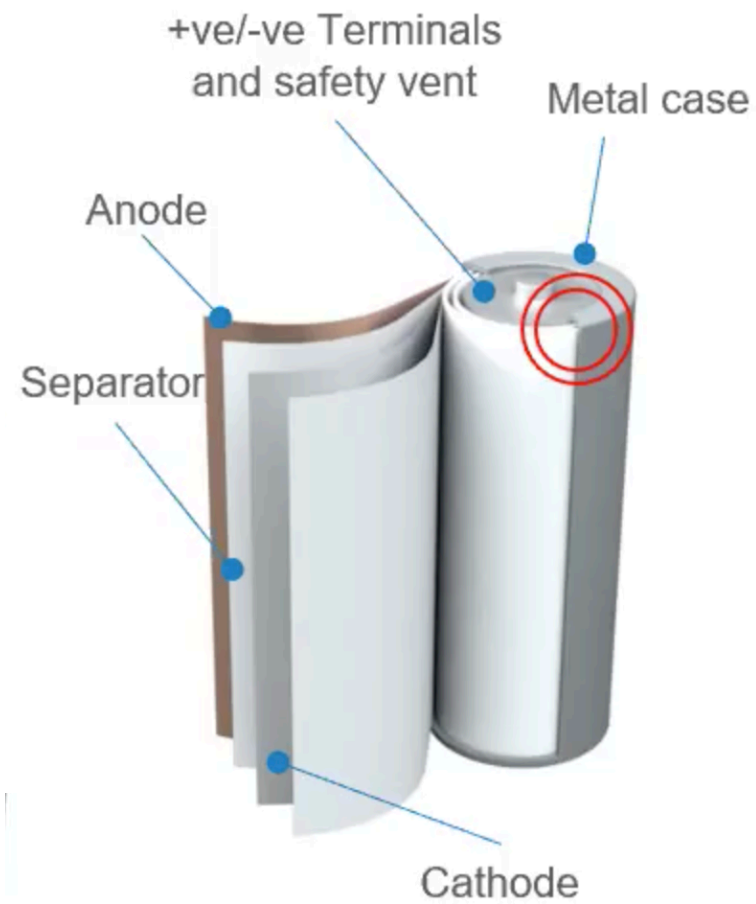
Resistenze elettriche: 20-40 $\mu\Omega$

**Criticità:**

Salature di leghe bi-metalliche ed alto-riflettenti; elevate differenza di temperatura di fusione

Fasi intermetalliche fragili che nascono dalla ri-solidificazione di Al e Cu

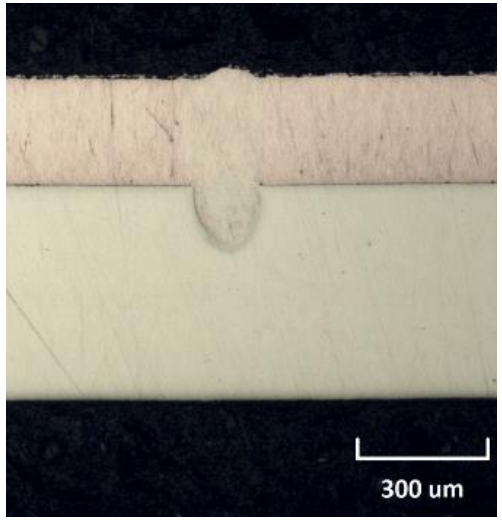
# Tipologia «cilindrica»

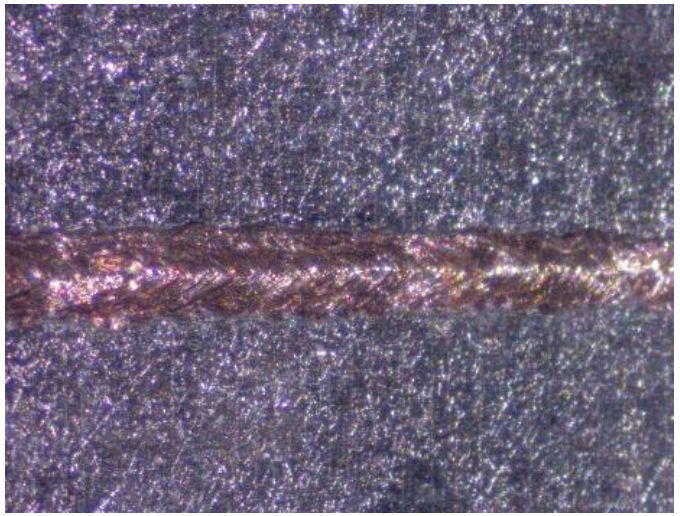



Dispongo 2 elettrodi differenti nella modalità di saldatura per sovrapposizione

# Tipologia cilindrica

Rame nichelato 0,2-0,4 mm – Acciaio nichelato 0,3-1,2 mm



Esempio di un pacco batterie costituito da 48 stilo -> 96 cordoni di saldatura. Pacco realizzato nell'ambito del progetto **POR-FESR LIBER**

**Caratteristiche generali:**

Solitamente Acciaio-Cu entrambi nichelati nella configurazione per sovrapposizione.

**Performance ottenibili:**

Velocità di processo: 300-500 mm/s

Carichi meccanici: 300-400 N (funzione spessore degli elettrodi)

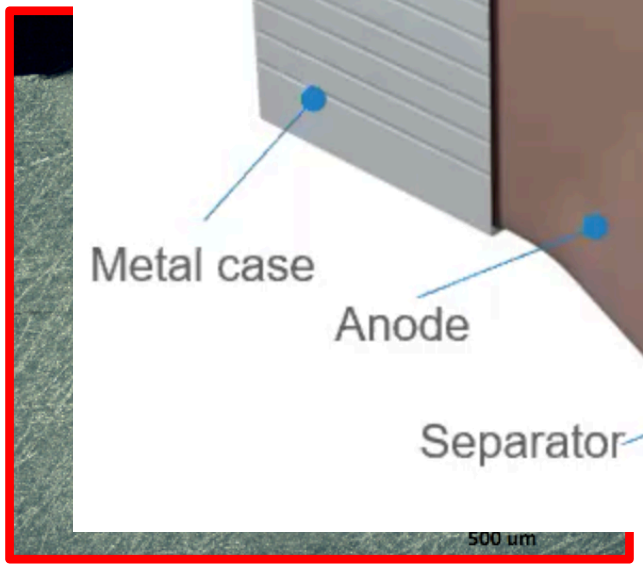
Resistenze elettriche: 10 - 15 $\mu\Omega$

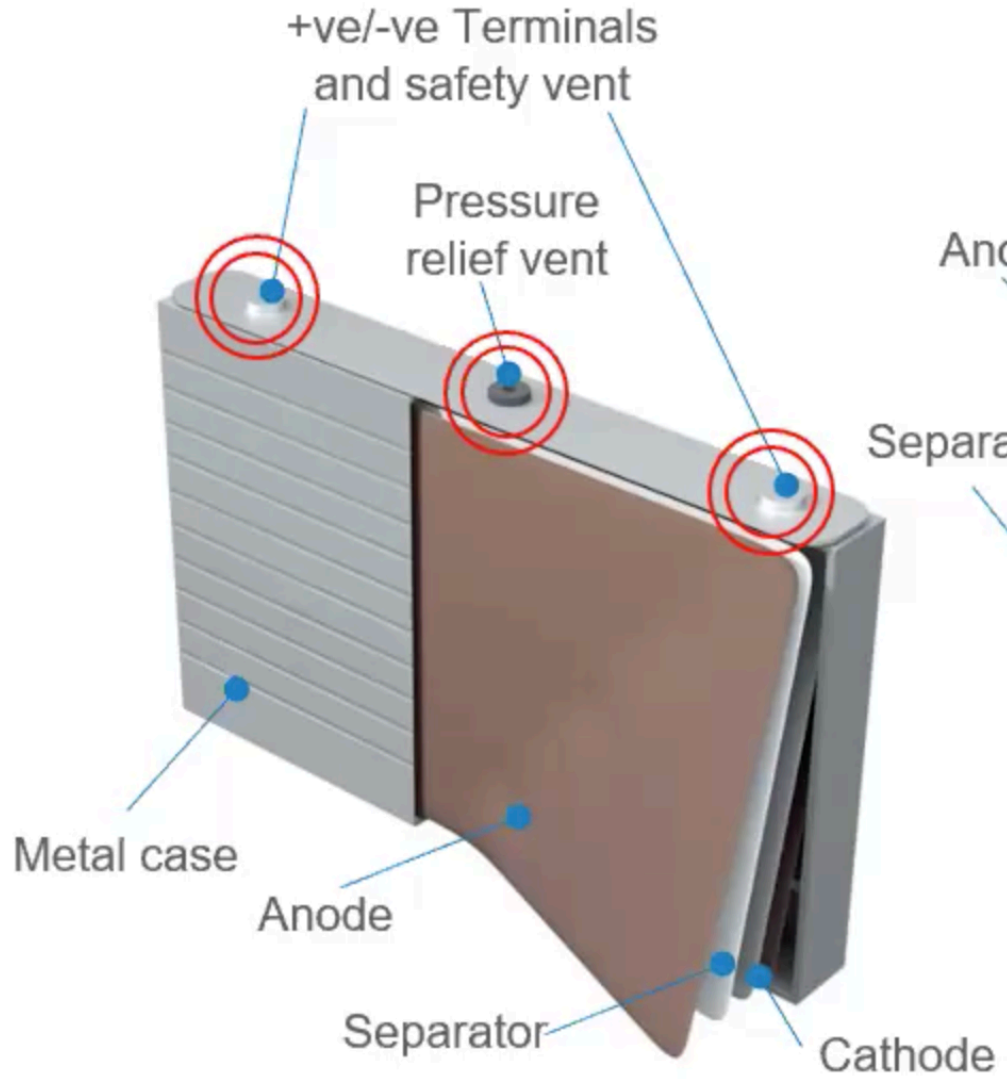
**Criticità:**

Necessità di avere sempre 2 cordoni (polo negativo e positivo)

Nessuna possibilità di «sfondamento» particolarmente critico sul polo negativo

# Tipologia prismatica




**ıe generali:**

Al-Al 1XXX in diverse configurazioni a
a geometrie. Spessori solitamente maggiori
poiché le correnti per elettrodo sono

**ottenibili:**

rocesso: inferiore al secondo

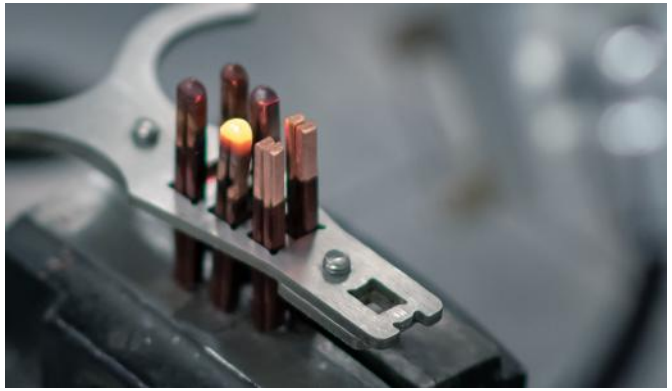
ettriche: 10 - 15 μΩ

cordone limitato e necessità di disegnare
oc

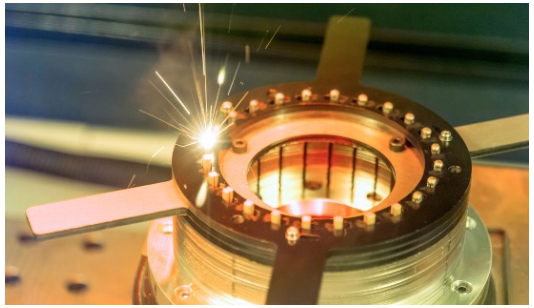
# Avvolgimenti: tipologie, stato dell’arte e criticità

# Gli avvolgimenti

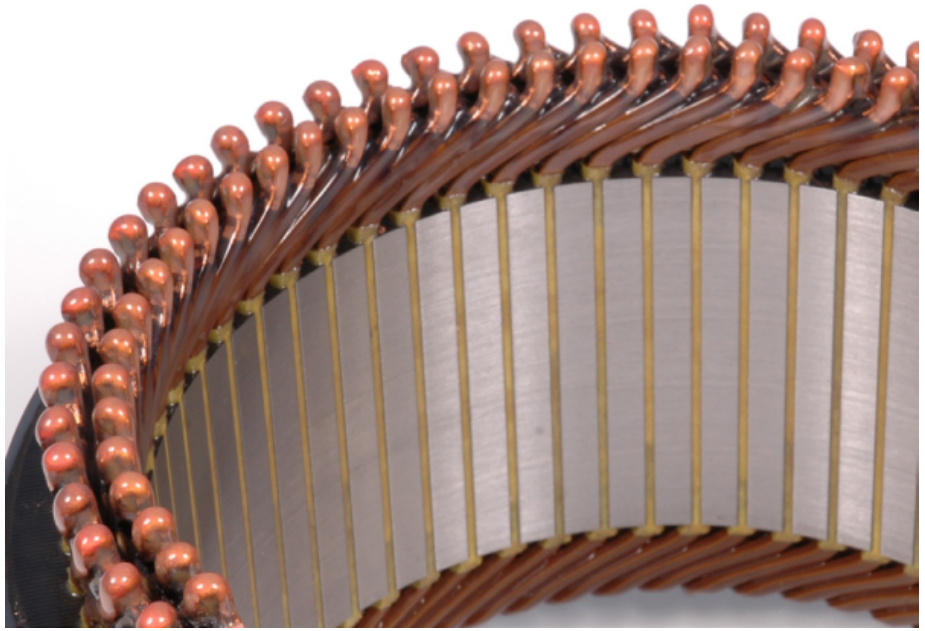
hairpin



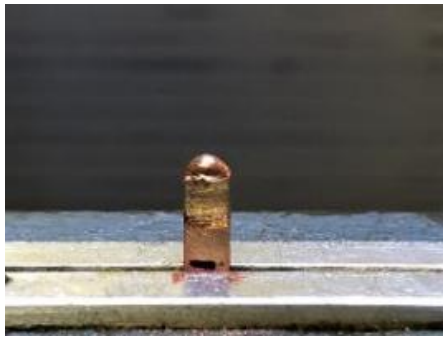
Saldatura laser



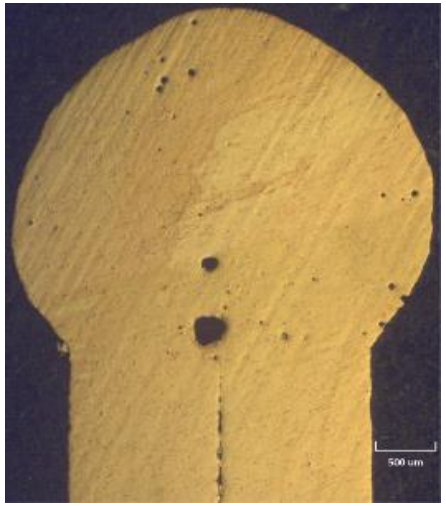
Saldatura laser

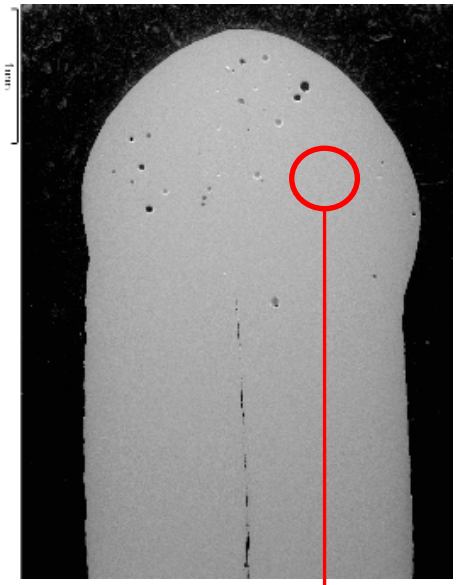


# Motori elettrici: saldature hairpins



**Tempo di saldatura = 0,25 [s]**
**Porosità < 1 %**





| Spectrum 2 | Wt% | Wt% Sigma | Atomic % |
|---|---|---|---|
| O | 0.52 | 0.09 | 2.04 |
| Cu | 99.48 | 0.09 | 97.96 |
| Total | 100.00 | | 100.00 |

**Caratteristiche generali:**

Solitamente Cu-Cu nella configurazione «testa a testa» rivestiti con polimero isolante

**Performance ottenibili:**

Velocità di processo: 0,15-0,25 s/hairpin

Carichi meccanici: 400-500 N (funzione della sezione del hairpin)

Resistività elettriche: 95-120 $\mu\Omega$

**Criticità:**

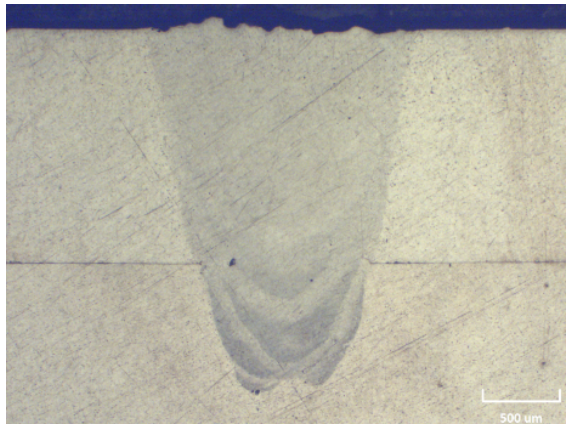
Difficoltà accostamento lembi

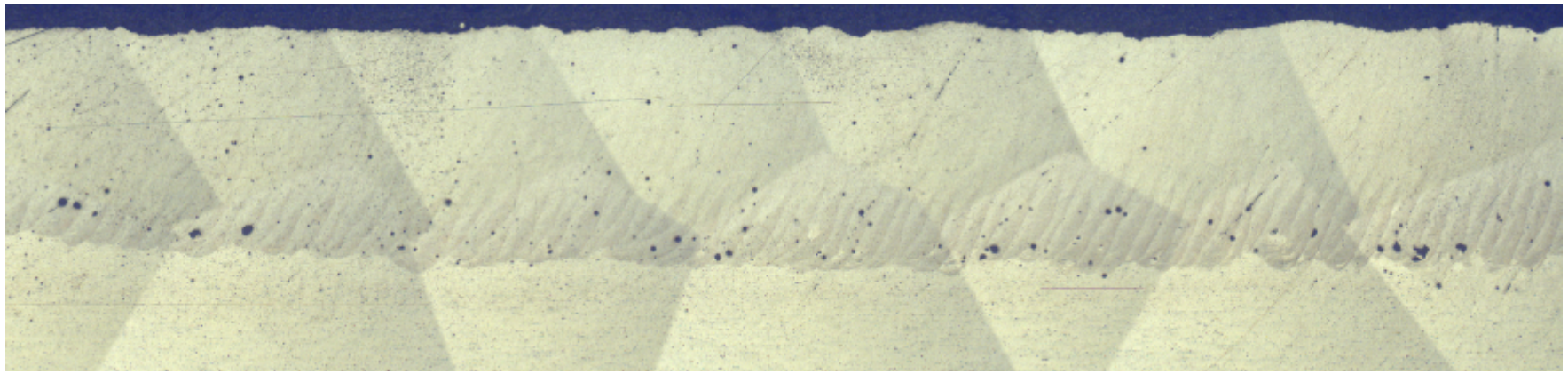
Scelta dell'energia laser da conferire per ridurre pori, aumentare la conducibilità elettrica e non rovinare l'isolante

# *Battery case*: materiali, geometrie, stato dell'arte e criticità

# Battery cases

Alluminio 6082 1,5 mm – Alluminio 6082 4 mm ottenuto senza apporto di filo.
(Laboratorio DIN)



**Caratteristiche generali:**

Solitamente Al 6XXX o Al 5XXX in diverse configurazioni a seconda della geometrie

**Performance ottenibili:**

Funzione degli spessori e delle geometrie e dell'apporto o meno di filo

**Criticità:**

Difficoltà di saldature (cricche a caldo) in caso Al 5XXX e Al 6XXX

Introduzione del filo per ridurre la presenza di cricche

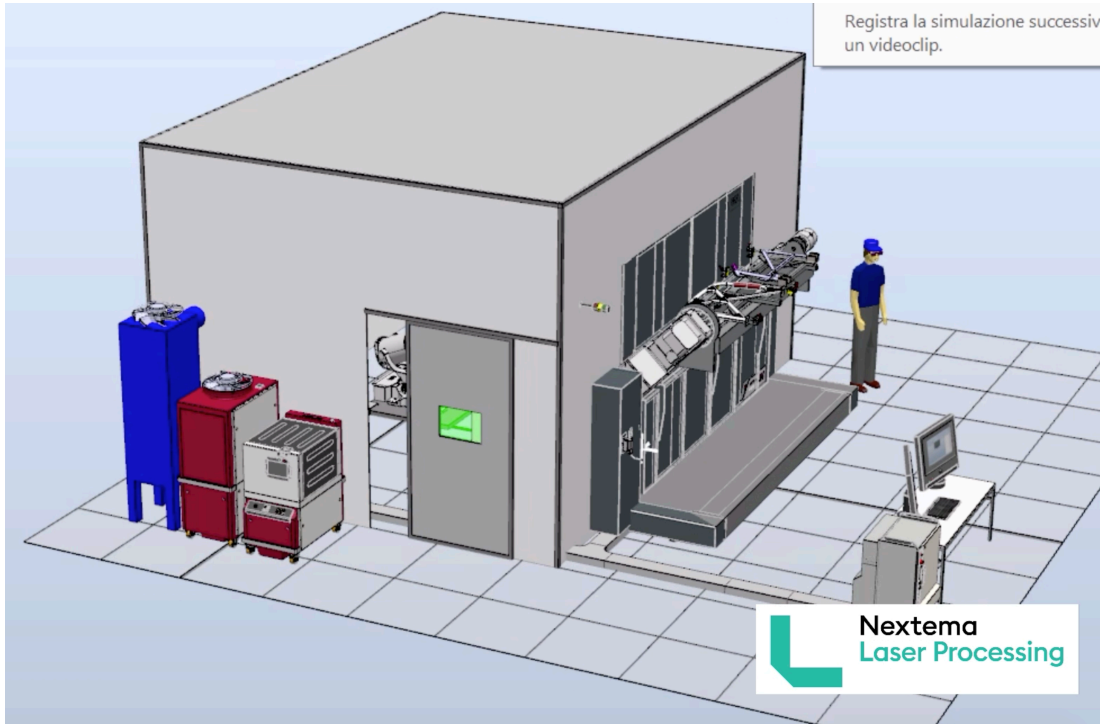
Saldature in configurazioni anche «difficili»

*Impianti: Tipologie di automazioni e componentistica laser utilizzata*

# Automazione del processo su scala industriale

Processo ovviamente automatizzato nelle 2 varianti principali:

- Posizionamento laser/cella mediante robot
- Posizionamento laser/cella mediante automazione rigida




Esempio di industrializzazione mediante celle robotizzate equipaggiate di teste scanner

**Aspetti salienti:**

Posizionamento con precisioni molto accurate nella direzione z (propagazione del fascio)

Saldatura per sovrapposizione con gap molto contenuto (teoricamente nullo nel caso di elettrodi)

Applicazione di una forza di serraggio nota e predeterminata in funzione dello spessore e tipo di elettrodi

Il bloccaggio deve rendere accessibile la saldatura

Monitoraggio on-line ed off-line complessi

Sistemi di acquisizione posizione del giunto per esecuzione rapida ed automatizzata del cordone

# Principali componenti laser per una corretta saldatura

Sorgente laser: ad oggi le sorgenti laser ottimali sono con lunghezza d'onda di 1,06 μm ad elevata qualità del fascio (singolo modo) con potenze comprese tra 2-4 kW (in funzione della cadenza)

Il sistema di trasporto è in fibra con diametri inferiori ai 100 μm e comunque dipendenti della lunghezza della lente di collimazione e di focalizzazione

Dimensioni dello spot di lavoro sempre inferiore ai 200 μm (ottimale attorni ai 100 μm)

Lunghezze di focalizzazione comprese tra 200-400 mm

Sistema di movimentazione fascio: robot o altro per il posizionamento e testa scanner per la realizzazione del cordone

# Nuovi sviluppi: laser blu vs laser near-infrared

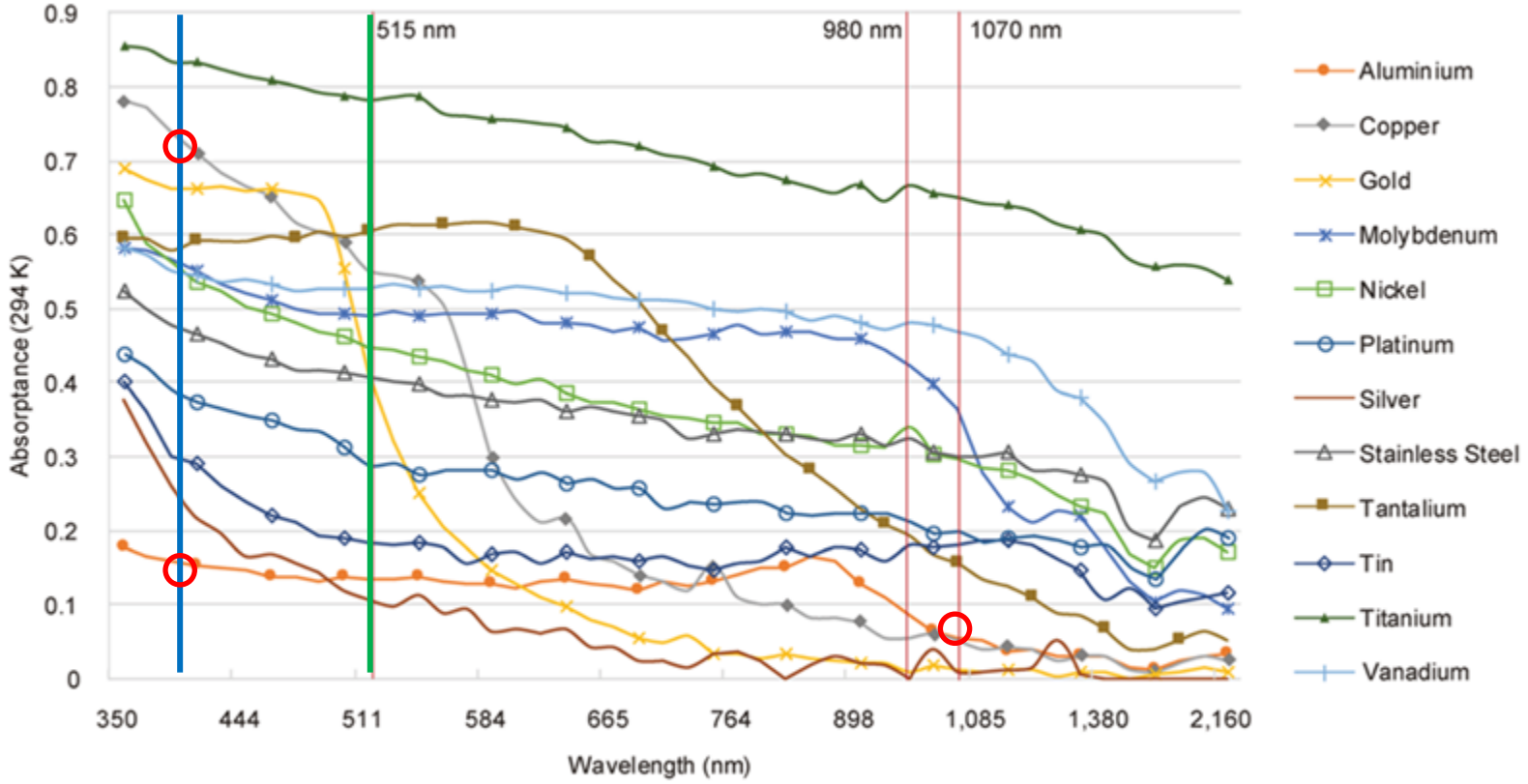



**Fig. 1** Spectral absorptance for various high-purity metals with a cleaned but not ideal surface finish plotted using data from Spisz et al. [21]

**Nuove sorgenti:**

Ad oggi i laser blu ad alta qualità sono la maggiore novità attesa dal mercato

Ad oggi le soluzioni «convenzionali» ovvero laser in fibra da 1064 nm danno maggiori qualità, versatilità e velocità di processo.

# Conclusioni

Oggi il laser offre diverse soluzioni tecnologiche per la realizzazione di componenti e-mobility ad elevata qualità: alte caratteristiche meccaniche e/o bassa resistenze elettriche

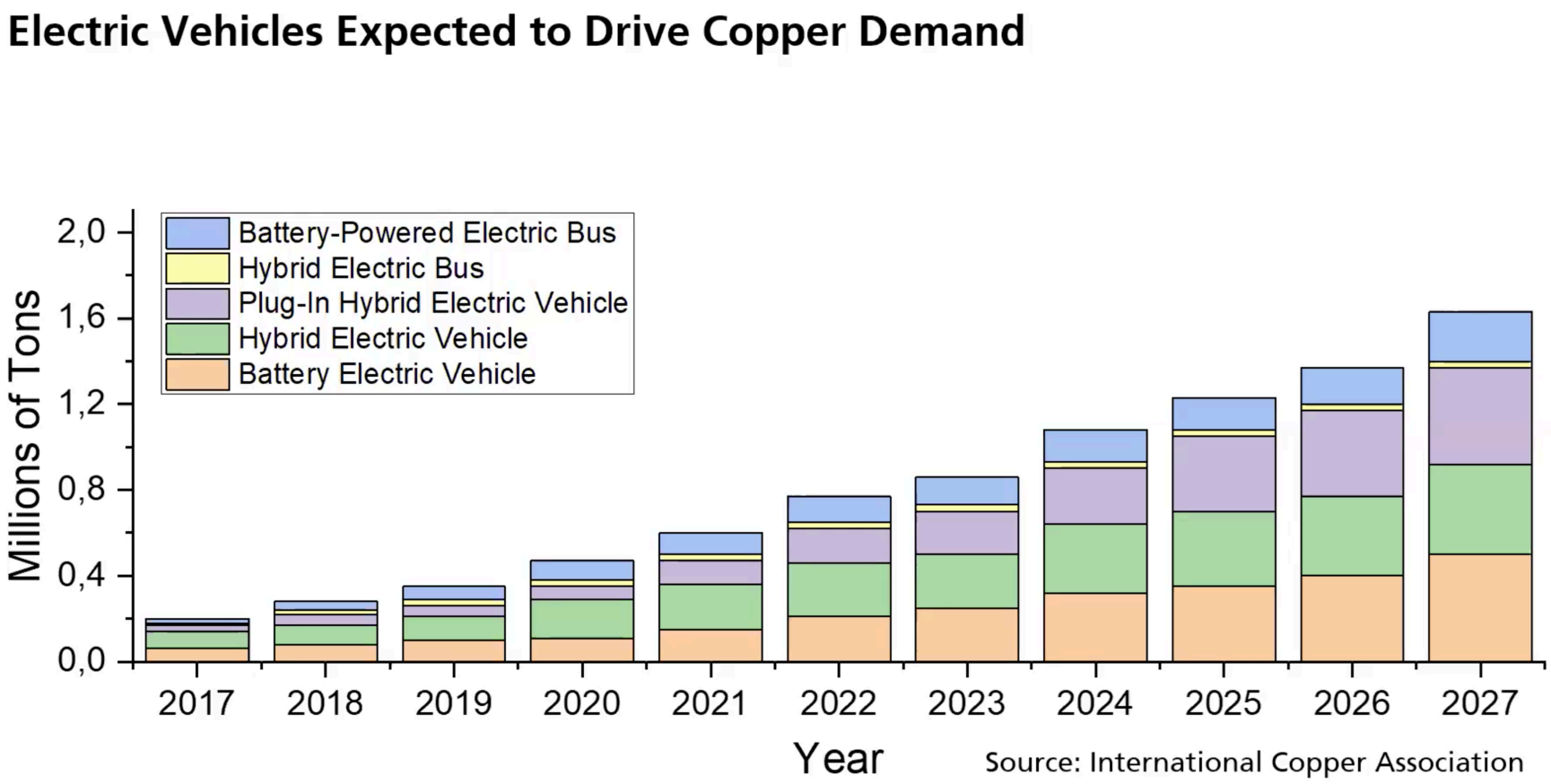
I sistemi di movimentazione (teste scanner, robot, etc..) consentono di avere buone precisioni di posizionamento, elevate velocità di produzione ed ottima ripetibilità

Cominciano ad essere disponibili sul mercato sistemi di «visione» che facilitano il posizionamenti e l'automazione del processo

Bassa maturità dei sistemi di monitoraggio sia off-line che, soprattutto, on-line

# Sviluppi futuri

Collaborazione tra i vari Soggetti per creare catene virtuose nello sviluppo processo-prodotto



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

**Alessandro Fortunato**

Department of Industrial Engineering (DIN)
University of Bologna

alessandro.fortunato@unibo.it